

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Mejora de solución tecnológica con TinyML para detectar y notificar caídas y  
situaciones de riesgo

TECH-439

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera en Computación**

Presentado por:

Paulina Michelle Loor Tubay

Katherine Alexandra Tumbaco Sellan

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

## Dedicatoria

---

A mi familia, en especial a mi mamá y mi papá, por su apoyo en cada etapa de mi vida, por todos los sacrificios que tuvieron que realizar para que yo haya podido llegar al final de mi carrera, y ayudarme a ser la mujer que soy hoy en día. A mi abuelita Rosa, por haber sido mi segunda madre. A mi perrita Coca por haberme acompañado en todas esas noches de estudio, y a mi perrita Caramelo por haberme acompañado en todas esas clases virtuales. A mi perrita Candy, que, pese a ya no estar con nosotros, formó parte de toda mi vida estudiantil, de escuela hasta casi fines de la universidad. Este logro no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino del amor, sacrificio y apoyo de quienes me han acompañado en cada paso.

**Paulina Michelle Loor Tubay**

## **Dedicatoria**

---

A mi mamá, Alexandra, y a mi hermano Johel por su amor, apoyo y motivación, por cada palabra de aliento, por cada abrazo en los momentos de cansancio y por estar siempre mi lado. A la pequeña que está por llegar, mi sobrina, cuya llegada esperamos con tanto amor, que cuando crezca y lea esto, sepa que los sueños se cumplen con amor, esfuerzo y dedicación. Este logro alcanzado es tanto mío como de ustedes.

**Katherine Alexandra Tumbaco Sellan**

## Agradecimientos

---

Agradezco a mi familia por haberme apoyado en mi formación académica. A Dios, porque me permitió llegar a esta etapa de mi vida.

A cada una de las personas que me acompañaron en mi vida estudiantil, a mis amigos que hicieron más llevadera la vida universitaria, en especial a Karen por haber sido la primer y más grande amiga que me regaló la universidad.

A todos los docentes que más que enseñar lo técnico, me apoyaron con consejos de vida.

A Katherine, mi compañera de tesis, gracias por siempre estar dispuesta a colaborar, no podía haber tenido mejor compañía para este último proyecto.

A nuestro tutor, Ronald Criollo, gracias por sus consejos y su ayuda en esta etapa final.

**Paulina Michelle Loor Tubay**

## Agradecimientos

---

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar este objetivo y guiar mi camino durante esta etapa académica.

A mi mamá, Alexandra Sellan, por su amor incondicional y acompañamiento constante, incluso en aquellas largas madrugadas donde su presencia fue mi mayor fortaleza.

A mis amigos Ayllin, Karla, Bryan, Ariel y Alex por su apoyo constante y por llenar mis días de risas y recuerdos que atesoraré siempre.

A cada uno de los amigos que he conocido durante mi carrera universitaria. Sobre todo, a mi compañera y amiga, Paulina Loor, por su dedicación y el excelente trabajo en equipo que construimos juntas.

A mi tutor, Mgst. Ronald Criollo, por la confianza, oportunidad y guía experta que mantuvo el proyecto en el camino correcto.

**Katherine Alexandra Tumbaco Sellan**

## Declaración Expresa

---

Nosotras Paulina Michelle Loor Tubay y Katherine Alexandra Tumbaco Sellan acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotras durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de octubre del 2025.

Katherine Alexandra Tumbaco Sellan

Paulina Michelle Loor Tubay

## **Evaluadores**

---

**Ronald Raul Criollo Bonilla**

Profesor de Materia

---

**Ronald Raul Criollo Bonilla**

Tutor de proyecto

## Resumen

El tiempo de respuesta en situaciones de emergencia como caídas, accidentes automovilísticos y situaciones relacionadas a la inseguridad resulta crítico; la falta de atención inmediata puede agravar las lesiones, causar fracturas, contusiones, daños irreversibles y períodos prolongados de recuperación. Este proyecto se enfoca en desarrollar una solución tecnológica mejorada para la detección y notificación de caídas y situaciones de riesgo utilizando TinyML. Se plantea mejorar desarrollar nuevas funcionalidades en la aplicación móvil y ejecutar un plan de pruebas para validar el funcionamiento del sistema. Se mejoró el diseño del dispositivo wearable incluyendo una batería con mayor duración. Además, se implementó una arquitectura multi-plataforma que integró backend Flask con MySQL, dashboard web en React y aplicación móvil Flutter. El sistema incorporó notificaciones multi-canal (SMS, WhatsApp, email, push) y un mecanismo de tiempo de respuesta dinámica para descarte de falsas alarmas. Los resultados del plan de pruebas mostraron alta satisfacción: 4.8/5 y 4.6/5 donde se confirmó la correcta generación de alertas. El proyecto establece una alternativa competitiva frente a soluciones comerciales.

**Palabras Clave:** Dispositivo wearable, edge computing, alerta de emergencia, monitoreo en tiempo real,

## ***Abstract***

*Response time in emergency situations such as falls, car accidents, and insecurity problems is critical; lack of immediate attention can worsen injuries, cause fractures, contusions, irreversible damage, and prolonged recovery periods. This project focuses on developing an improved technological solution for the detection and notification of falls and risk situations using TinyML. The project aims to develop new functionalities in the mobile application and execute a test plan to validate the system's operation. The design of the wearable device was improved, including a longer-lasting battery. Furthermore, a multi-platform architecture was implemented, integrating a Flask backend with MySQL, a React web dashboard, and a Flutter mobile application. The system incorporates multi-channel notifications (SMS, WhatsApp, email, push notifications) and a dynamic response time mechanism to discard false alarms. The test plan results showed high satisfaction: 4.8/5 and 4.6/5, confirming the correct generation of alerts. The project establishes a competitive alternative to commercial solutions.*

*Keywords: Wearable device, edge computing, emergency alert, real-time monitoring.*

## Índice general

|   |    |
|---|----|
| Evaluadores .....   | 7  |
| Resumen .....   | 8  |
| <i>Abstract</i> .....   | 9  |
| Índice general .....  | 10 |
| Abreviaturas .....  | 13 |
| Simbología .....  | 14 |
| Índice de figuras .....   | 15 |
| Índice de Tablas.....   | 16 |
| Capítulo 1 .....  | 17 |
| 1.    Introducción .....  | 18 |
| 1.1    Descripción Del Problema.....  | 20 |
| 1.2    Justificación del problema .....                                       | 21 |
| 1.3    Objetivos.....   | 22 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....   | 22 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....                                      | 22 |
| 1.4    Marco Teórico .....  | 23 |
| 1.4.1 <i>Situaciones de emergencia y su impacto en la salud pública</i> ..... | 23 |
| 1.4.2 <i>Tecnologías de detección de caídas</i> .....                         | 25 |
| 1.4.3 <i>TinyML y Edge Computing</i> .....                                    | 29 |
| 1.5    Proyecto Base .....  | 30 |
| Capítulo 2 .....  | 1  |
| 2.    Metodología. ....   | 2  |
| 2.1    Análisis .....   | 2  |
| 2.1.1    Requerimientos.....  | 2  |
| 2.1.1.2.1    Requerimiento De Eficiencia .....                                | 11 |
| 2.1.1.2.2    Requerimiento De Usabilidad .....                                | 11 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.1.2      | Alcance Y Limitaciones De La Solución.....                                      | 11 |
| 2.1.2.1.1  | Limitación De Hardware.....   | 12 |
| 2.1.2.1.2  | Limitación Del Software.....  | 13 |
| 2.1.3      | Riesgos Y Beneficios De La Solución.....  | 15 |
| 2.1.4      | Usuarios de la solución.....  | 18 |
| 2.2        | Prototipado.....  | 18 |
| 2.2.1      | Matriz De Selección De Prototipos.....  | 22 |
| 2.2.2      | Evaluación.....   | 23 |
| 2.2.3      | Diseño De La Solución.....  | 24 |
| 2.2.3.1    | Modelo De “4+1” Vistas De Kruchten.....   | 24 |
| 2.2.3.1.1  | <i>Vista Lógica</i> .....   | 24 |
| 2.2.3.1.2  | <i>Vista De Procesos</i> .....  | 26 |
| 2.2.3.1.3  | <i>Vista de Desarrollo</i> .....  | 29 |
| 2.2.3.1.4  | <i>Vista Física</i> .....   | 30 |
| 2.2.4      | Diagramas (Clases, Casos De Uso, Interacción, Flujo De Procesos, Entre Otros)31 |    |
| 2.2.4.1    | Diseño De La Base De Datos.....   | 33 |
| Capítulo 3 | .....   | 34 |
| 3.         | Resultados y análisis.....  | 35 |
| 3.1        | Plan de Implementación.....   | 35 |
| 3.2        | Pruebas.....  | 40 |
| 3.3        | Resultados.....   | 45 |
| 3.3.1      | Participantes.....  | 45 |
| 3.3.2      | Funcionalidades Logradas.....   | 45 |
| 3.3.3      | Evaluación de Satisfacción.....   | 46 |
| 3.3.4      | Sugerencias de Mejora.....  | 49 |
| 3.4        | Análisis de Costos.....   | 50 |
| Capítulo 4 | .....   | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Conclusiones y recomendaciones..... | 53 |
| 4.1.1 Conclusiones.....                 | 53 |
| 4.1.2 Recomendaciones.....              | 54 |
| Referencias.....                        | 56 |

## Abreviaturas

|        |  |
|--------|--|
| API    | Application Programming Interface          |
| BLE    | Bluetooth Low Energy                       |
| CNN    | Convolutional Neural Networks              |
| ESPOL  | Escuela Superior Politécnica del Litoral   |
| FCM    | Firebase Cloud Messaging                   |
| GATT   | Generic Attribute Profile                  |
| GPS    | Global Positioning System                  |
| HTTPS  | Hypertext Transfer Protocol Secure         |
| IA     | Inteligencia Artificial                    |
| IMU    | Inertial Measurement Unit                  |
| INEC   | Instituto Nacional de Estadística y Censos |
| IOS    | iPhone Operating System                    |
| IoT    | Internet of Things                         |
| JWT    | JSON Web Token                             |
| LSTM   | Long Short-Term Memory                     |
| RAM    | Random Access Memory                       |
| REST   | Representational State Transfer            |
| SMS    | Short Message Service                      |
| SQL    | Structured Query Language                  |
| SVM    | Support Vector Machine                     |
| TI     | Tecnologías de la Información              |
| TinyML | Tiny Machine Learning                      |

## **Simbología**

FK Foreign Key

GB Gigabyte

ms Milisegundo

PK Primary Key

ROC Receiver Operating Characteristic

s Segundo

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Usuario Alertante - Parte móvil .....  | 18 |
| Figura 2 Usuario Cuidador - Parte móvil .....   | 19 |
| Figura 3 Usuario Administrador - Parte web .....  | 21 |
| Figura 4 Usuario cuidador - Parte web.....  | 22 |
| Figura 5 Vista Lógica.....  | 26 |
| Figura 6 Vista de Proceso 1: Detección y Notificación de Caída.....   | 27 |
| Figura 7 Vista de Proceso 2: Activación por Voz "Sacha".....  | 28 |
| Figura 8 Vista de Proceso 3: Gestión de Usuario en Dashboard .....  | 28 |
| Figura 9 Vista de Desarrollo.....   | 30 |
| Figura 10 Vista Física .....  | 31 |
| Figura 11 Diagrama de Clase de Usos .....   | 32 |
| Figura 12 Diseño de la base de datos .....  | 33 |
| Figura 13 Características demográficas.....   | 45 |
| Figura 14 Distribución de respuestas por dimensión en la evaluación de satisfacción del módulo cuidador ..... | 48 |
| Figura 15 Distribución de respuestas por dimensión en la evaluación de satisfacción del módulo alertante..... | 49 |

## Índice de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Requerimiento Funcional UM001 - Módulo .....                     | 2  |
| Tabla 2 Requerimiento Funcional UM002 - Módulo Alertante .....           | 3  |
| Tabla 3 .....  | 3  |
| Tabla 4 Requerimiento Funcional UM004 - Módulo Alertante .....           | 3  |
| Tabla 5 Requerimiento Funcional UM005 - Módulo Alertante .....           | 4  |
| Tabla 6 Requerimiento Funcional UM006 - Módulo Alertante .....           | 4  |
| Tabla 7 Requerimiento Funcional UM007 - Módulo Alertante .....           | 4  |
| Tabla 8 Requerimiento Funcional UM008 - Módulo Alertante .....           | 5  |
| Tabla 9 Requerimiento Funcional UM009 - Módulo Alertante .....           | 5  |
| Tabla 10 Requerimiento Funcional UM010 - Módulo Alertante .....          | 5  |
| Tabla 11 Requerimiento Funcional UM011 - Módulo Alertante .....          | 6  |
| Tabla 12 Requerimiento Funcional UM012 - Módulo Alertante .....          | 6  |
| Tabla 13 Requerimiento Funcional UM013 - Módulo Alertante .....          | 6  |
| Tabla 14 Requerimiento Funcional UM014 - Módulo Alertante .....          | 7  |
| Tabla 15 Requerimiento Funcional UM015 - Módulo Alertante .....          | 7  |
| Tabla 16 Requerimiento Funcional UM016- Módulo Cuidador .....            | 8  |
| Tabla 17 Requerimiento Funcional UM017- Módulo Cuidador .....            | 8  |
| Tabla 18 Requerimiento Funcional UM018 - Módulo Cuidador .....           | 8  |
| Tabla 19 Requerimiento Funcional UM019 - Módulo Cuidador .....           | 9  |
| Tabla 20 Requerimiento Funcional UM020 - Módulo Cuidador .....           | 9  |
| Tabla 21 Requerimiento Funcional UM021 - Módulo Cuidador .....           | 9  |
| Tabla 22 Requerimiento Funcional UM022 - Módulo Administrador .....      | 10 |
| Tabla 23 Requerimiento Funcional UM022 - Módulo Administrador .....      | 10 |
| Tabla 24 Requerimiento Funcional UM024 - Módulo Administrador .....      | 10 |
| Tabla 25 Requerimiento Funcional UM025 - Módulo Administrador .....      | 11 |
| Tabla 26 Matriz De Selección De Prototipos .....                         | 23 |
| Tabla 27 Resumen de las pruebas del prototipo por rol de usuario .....   | 24 |
| Tabla 28 Plan de implementación .....                                    | 35 |
| Tabla 29 Pruebas .....   | 40 |
| Tabla 30 Resultados de Evaluación de Satisfacción módulo cuidador .....  | 47 |
| Tabla 31 Resultados de Evaluación de Satisfacción módulo alertante ..... | 48 |
| Tabla 32 Análisis de Costos .....  | 50 |

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las caídas constituyen uno de los mayores problemas que influyen en la salud a nivel mundial, representando la segunda causa de muerte por lesiones no intencionales especialmente en adultos mayores acorde con la Organización Mundial de la Salud. En Ecuador, el progresivo envejecimiento de la población aumenta la gravedad del problema. El INEC proyecta que para el año 2050 el 18% de la población será mayor de 60 años [1], lo que incrementará la demanda de soluciones que manejen de una mejor forma las lesiones en este grupo de la población.

En el mercado actual existen múltiples soluciones que buscan asistir esta problemática. Por ejemplo, el Apple Watch ofrece sensores especializados para caídas [2]; sin embargo, su costo es elevado por lo que es inaccesible para población con pocos recursos. Dispositivos similares de monitoreo personal y emergencia enfrentan las mismas limitaciones de accesibilidad. Hay que tomar en cuenta que actualmente en el Ecuador según datos del INEC alrededor de 4 millones de personas ganan el salario básico unificado, una cifra que representa un 30% de la población [3], esto genera una brecha de desigualdad lo que afecta desproporcionadamente a adultos mayores de recursos limitados además de comunidades rurales con acceso restringido a servicios de salud.

La relevancia de este proyecto va más allá del ámbito tecnológico y se vincula directamente con problemáticas sociales y económicas. Desde la perspectiva social, las caídas no solo causan lesiones físicas, sino que desencadenan consecuencias psicológicas profundas como el síndrome poscaída, condición que genera un miedo persistente a volver a caer, lo que lleva al aislamiento y pérdida de independencia. Por otro lado, en el contexto económico, las caídas representan una carga importante para los sistemas de salud debido a hospitalizaciones prolongadas, tratamientos de rehabilitación y cuidados a largo plazo. En ese sentido, la ESPOL,

institución comprometida con la innovación tecnológica y el bienestar de su comunidad universitaria, la implementación de un sistema de detección de caídas adquiere particular relevancia, considerando que estudiantes, docentes y personal administrativo desarrollan actividades físicas y deportivas que conllevan riesgos inherentes.

La problemática central gira en torno a la ausencia de soluciones asequibles para distintos sectores de la población. Estas carencias comprometen la capacidad de respuestas ante emergencias, exponiendo a segmentos de las poblaciones vulnerables en situaciones donde la rapidez en la atención es crucial, dado que un tiempo de respuesta prolongado puede desencadenar consecuencias irreversibles.

Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una solución tecnológica mejorada para la detección y notificación de caídas en situaciones de riesgo, utilizando la tecnología TinyML, con el objetivo de perfeccionar un sistema previamente creado. A través de este trabajo, se aplicarán conocimientos avanzados en áreas como inteligencia artificial, sistemas embebidos, programación de aplicaciones móviles, procesamiento de señales, arquitectura de *software* y gestión de proyectos tecnológicos. El principal objetivo es optimizar el modelo de detección de caídas, aumentar la precisión y la eficiencia del sistema, y garantizar su funcionalidad en condiciones del mundo real.

Cabe destacar que TinyML permite integrar el aprendizaje automático en dispositivos de recursos limitados, así como en tecnologías IoT, a fin de mejorar la seguridad de los usuarios, particularmente la de aquellos en situaciones de vulnerabilidad. El proyecto también incluye el desarrollo de una interfaz de usuario accesible y una aplicación móvil que gestione las alertas de emergencia, los contactos que reciben la alerta de emergencia y la geolocalización para la ubicación rápida de personas en situación de riesgo. Además, se busca mejorar el sistema de reconocimiento de voz para amplificar el rango de escucha.

En términos de impacto social, el proyecto tiene el potencial de mejorar la calidad de vida y la seguridad de las personas vulnerables, proporcionando una respuesta rápida ante emergencias y ofreciendo tranquilidad tanto a los usuarios como a sus familias. Asimismo, al tratarse de una solución basada en tecnologías emergentes, puede abrir puertas a oportunidades productivas y económicas en el campo de la salud digital, como la creación de dispositivos médicos de bajo costo y la transferencia tecnológica al sector médico.

Por tanto, este documento se estructurará en cuatro capítulos: el primero establecerá el marco conceptual del proyecto y la justificación de las mejoras; el segundo detallará la metodología utilizada, incluyendo el análisis de requisitos y el prototipado del sistema mejorado; el tercer capítulo presentará los resultados y análisis obtenidos durante las pruebas y la validación del sistema; y el cuarto capítulo concluirá con las lecciones aprendidas, los logros alcanzados y las recomendaciones para continuar mejorando el sistema, como la ampliación del conjunto de datos, la optimización del modelo de IA y la mejora de la autonomía de la batería.

## **1.1 Descripción Del Problema**

Las caídas representan un grave problema de salud pública, causando aproximadamente 648,000 muertes anuales a nivel mundial, siendo los adultos mayores de 60 años los más afectados [1]. El proyecto original, sobre el que se basa esta investigación, [4] demostró una efectividad del 76% en la detección de caídas, lo que significó que el 24% de las caídas no fueron detectadas correctamente, poniendo en riesgo vidas humanas. Además, presentó aspectos que se pueden mejorar como la duración de batería de solo 1.5 horas, el alcance limitado de Bluetooth (10-15m) y la falta de funcionalidades como GPS para localización precisa del usuario con el fin que obtener ayuda inmediata. Esta problemática no afecta únicamente a instituciones de salud, sino que abarca múltiples sectores: hogares con adultos mayores, centros geriátricos, hospitales, empresas de seguridad personal, deportistas de alto rendimiento y trabajadores en

actividades peligrosas. El mercado potencial incluye todo el sector de salud preventiva, tecnología *wearable* y sistemas de emergencia personal.

El 80% de las caídas se producen en el hogar y el 20% restante fuera del él; la gran mayoría de ellas no son reportadas [5]. Por ende, las personas que viven solas o presentan un tipo de discapacidad y no cuentan con ayuda inmediata empeora la calidad de vida. En general, ante las situaciones de emergencia el tiempo de respuesta es crítico, independientemente del contexto la demora en la detección y respuesta puede ser la diferencia entre una recuperación completa y consecuencias graves.

## **1.2 Justificación del problema**

Estar acostado en el suelo durante períodos prolongados después de una caída se asocia fuertemente con lesiones graves, ingreso hospitalario y traslados posteriores a centros de cuidados a largo plazo [6]. El tiempo transcurrido entre la caída y la recepción de asistencia médica constituye un factor crítico que incluso puede desencadenar lesiones secundarias, compromete los períodos de recuperación y, en casos extremos, la supervivencia del paciente.

Estar inmovilizado durante largos períodos de tiempo puede conllevar complicaciones médicas complejas, especialmente en personas de edad avanzada o con condiciones médicas preexistentes. Por esta razón, disponer de asistencia inmediata cuando se produce una caída, no solo previene el agravamiento inicial de las lesiones, sino que reduce en riesgo de complicaciones secundarias que pueden comprometer significativamente la calidad de vida de la persona afectada.

En este contexto, la integridad física es mejor resguardada cuando existen sistemas de comunicación funcionales y confiables ante situaciones de emergencia. Sin embargo, las caídas representan únicamente una de las múltiples situaciones de riesgo que pueden enfrentar los usuarios. Existen escenarios igualmente críticos donde la persona mantiene conciencia y

capacidad de comunicación, pero se encuentra en situaciones de peligro inminente que requieren asistencia inmediata. En esto se puede mencionar:

1. Amenazas de seguridad: Situaciones de violencia física, acoso o persecución en las que el usuario necesita solicitar ayuda discretamente para no alertar al agresor.

2. Emergencias médicas diversas: Situaciones como alergias graves, episodios de hipoglucemia severa, entre otros cuadros médicos en los que la persona está consciente, pero requiere ayuda urgente.

3. Situaciones de extravío o desorientación: Personas con enfermedad de Alzheimer, demencia vascular u otras enfermedades que afectan la memoria y la capacidad de orientarse, lo que genera una carga emocional significativa en sus familiares y cuidadores.

4. Accidentes durante actividades deportivas: Lesiones que no implican una caída detectada por sensores de caídas como el acelerómetro (esguinces, fracturas por impacto lateral, atrapamiento).

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Desarrollar una solución tecnológica mejorada para la detección y notificación de caídas y situaciones de riesgo mediante TinyML incrementando la precisión de detección de las caídas y ampliando sus funcionalidades.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

1. Mejorar la precisión del modelo para la ampliación y diversificación de las muestras de movimientos y caídas.
2. Desarrollar nuevas funcionalidades en la aplicación móvil para el mejoramiento de la experiencia de usuario y configuración personalizada de alertas.

3. Ejecutar un plan de pruebas para la validación del funcionamiento y confiabilidad del sistema.

## **1.4 Marco Teórico**

### ***1.4.1 Situaciones de emergencia y su impacto en la salud pública***

#### ***1.4.1.1 Situación actual en el Ecuador***

Las caídas representan un grave problema de salud global, afectando principalmente a las poblaciones más vulnerables. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud [7], cada año se registran aproximadamente 684,000 muertes por caídas, siendo esta la segunda causa de muerte por lesiones no intencionales en el mundo. Más del 80% de los decesos por caídas ocurren en países de ingresos bajos y medianos lo que resalta la inequidad en el acceso de tecnologías de atención y preventivas.

Entre los grupos con mayor riesgo están los adultos mayores, especialmente aquellos mayores de 60 años, quienes sufren la mayor cantidad de caídas mortales. Según Bergen [8], alrededor del 30% de los adultos mayores de 65 años que viven en la comunidad experimentan al menos una caída al año, y esta proporción asciende al 50% en personas mayores de 80 años. En Latinoamérica, Gama y Gómez-Conesa [8] informan que la prevalencia de caídas en adultos mayores varía entre 21.6% y 34%, siendo más frecuente en mujeres debido a factores como la mayor esperanza de vida y la prevalencia de osteoporosis. Sin embargo, las situaciones de riesgo en la que los tiempos de respuesta son claves no se limitan únicamente a caídas, situaciones derivadas de la delincuencia, trabajos en ambientes peligrosos, o personas con condiciones de salud críticas requieren de igual manera una ayuda inmediata.

Los factores de riesgo para las caídas se dividen en dos categorías principales: intrínsecos y extrínsecos. Los factores intrínsecos incluyen el deterioro muscular, problemas de equilibrio y marcha, pérdida de agudeza visual, deterioro cognitivo, enfermedades crónicas como el Parkinson o la artritis, y el uso de múltiples medicamentos (polifarmacia), especialmente aquellos que afectan el sistema nervioso central [9]. Por otro lado, los factores extrínsecos se relacionan con el entorno, como la iluminación insuficiente, superficies irregulares o resbaladizas, alfombras sueltas, escaleras sin pasamanos y calzado inadecuado [10].

En el contexto de Ecuador, múltiples factores incrementan la relevancia de sistemas de detección y ayuda ante emergencias. El Instituto Nacional de Estadística y Censos [11] proyecta que para el año 2050, el 18% de la población ecuatoriana tendrá más de 60 años, lo que representa un aumento significativo respecto a la proporción actual. A esto se suma contextos como el incremento de sectores con trabajos en situaciones de riesgo y la creciente tasa de delincuencia en los últimos años.

#### **1.4.1.2 *Consecuencias de situaciones de emergencia sin atención inmediata***

Las consecuencias de las caídas no solo se limitan al daño físico que se da producto de esta, sino que tienen un impacto profundo y multidimensional, afectando la calidad de vida, la autonomía personal y la sobrecarga sobre los sistemas de salud. En el caso específico de las caídas, desde una perspectiva física, estas son la principal causa de lesiones traumáticas en adultos mayores, siendo las fracturas de cadera las más graves debido a su alta morbilidad. Según Johnell y Kanis [12], alrededor del 20% de las personas que sufren una fractura de cadera fallecen en el primer año posterior a la lesión, mientras que el 50% experimenta una discapacidad permanente que limita su movilidad e independencia.

De manera similar, en contextos laborales o deportivos, la demora en la atención puede agravar lesiones que, con respuesta inmediata, serían tratables. Los traumatismos craneoencefálicos son especialmente críticos: Thompson [13] reporta que las caídas son responsables del 46% de los traumatismos craneoencefálicos fatales en personas mayores de 65 años, pero este tipo de lesiones también afecta significativamente a trabajadores en altura, deportistas y víctimas de agresiones.

El impacto psicológico de las caídas también es considerable y a menudo subestimado. El síndrome post-caída, o ptofobia (miedo patológico a caer), afecta entre el 30% y el 73% de las personas que han sufrido caídas previas [14]. Este síndrome se caracteriza por ansiedad anticipatoria, pérdida de confianza en las propias capacidades de equilibrio y movilidad.

## ***1.4.2 Tecnologías de detección de caídas***

### ***1.4.2.1 Clasificación de los sistemas de detección***

Los sistemas de detección de caídas han evolucionado mediante diversos enfoques desde el ámbito tecnológico, cada uno con ventajas y limitaciones propias. Mubashir [15] presentan una clasificación de estos sistemas en cuatro categorías principales, según el tipo de sensor utilizado: sistemas basados en sensores vestibles (*wearables*), sistemas basados en visión por computadora, sistemas basados en sensores ambientales y sistemas híbridos que combinan varias tecnologías.

Sistemas basados en sensores vestibles: Estos sistemas emplean dispositivos portátiles que la persona usa, generalmente equipados con acelerómetros, giroscopios y otros sensores inerciales. Su ventaja principal es que proporcionan cobertura continua, independientemente de la ubicación del usuario. [16]. Sin embargo, dependen del uso

constante del dispositivo por parte del usuario, requieren la carga periódica de la batería y pueden generar falsos positivos debido a movimientos bruscos que se producen normalmente.

Sistemas basados en visión por computadora: Estos sistemas emplean cámaras y algoritmos de procesamiento de imágenes para detectar caídas, analizando cambios en la silueta, postura o movimiento de la persona. Vishwakarma et al. [17] desarrollaron algoritmos que analizan características como la relación de aspecto del cuerpo, la orientación y la velocidad de cambio de postura. Aunque son altamente precisos y no requieren que el usuario use dispositivos, presentan limitaciones: solo funcionan en áreas cubiertas por cámaras, son vulnerables a obstrucciones y cambios de iluminación, generan preocupaciones sobre la privacidad y requieren un procesamiento computacional intensivo [18].

Sistemas basados en sensores ambientales: Estos sistemas integran sensores en el entorno del usuario, como alfombras de presión, sensores de vibración en el piso, sensores infrarrojos pasivos (PIR) y sensores acústicos. Zigel et al. [19] desarrollaron un sistema que detecta caídas mediante el análisis de los sonidos característicos producidos por el impacto del cuerpo contra el suelo. La ventaja de estos sistemas es que no requieren que el usuario porte dispositivos, pero están limitados a áreas donde los sensores están instalados, no detectan caídas en lugares no instrumentados y requieren una instalación costosa.

Sistemas híbridos: Estos sistemas combinan diferentes tecnologías para mejorar la precisión y confiabilidad en la detección de caídas. Por ejemplo, Zhang et al. [20] propusieron un sistema que integra sensores vestibulares con sensores ambientales, utilizando la información combinada para reducir los falsos positivos y negativos.

Aunque estos sistemas ofrecen mayor precisión, también aumentan la complejidad, el costo y los requisitos de mantenimiento.

#### **1.4.2.2 *Sensores utilizados en detección de caídas***

Los acelerómetros y giroscopios son sensores clave en los sistemas de detección de caídas vestibulares. Los acelerómetros miden la aceleración lineal en tres ejes ortogonales, capturando tanto la aceleración dinámica de los movimientos como la aceleración estática de la gravedad [21]. Durante una caída, los acelerómetros detectan patrones característicos, como una aceleración inicial elevada mientras el cuerpo desciende, un pico de impacto cuando se contacta el suelo, y un período prolongado de baja aceleración cuando la persona permanece inmóvil después de la caída [22].

Por su parte, los giroscopios complementan a los acelerómetros midiendo la velocidad angular de rotación. Durante una caída, se observan velocidades angulares elevadas cuando el cuerpo rota descontroladamente, seguidas por una detención repentina. Kangas et al. [23] demostraron que combinar los acelerómetros con giroscopios mejora considerablemente la precisión de la detección, reduciendo falsos positivos causados por movimientos bruscos que no son caídas. Las Unidades de Medición Inercial (IMU) integran ambos sensores en un solo chip, proporcionando una visión completa del movimiento con 6 o 9 grados de libertad [24].

#### **1.4.2.3 *Algoritmos de detección de caídas***

Los algoritmos de detección de caídas han avanzado significativamente, pasando de métodos simples basados en umbrales a enfoques más sofisticados que emplean aprendizaje automático. Los métodos basados en umbrales detectan caídas cuando parámetros medibles, como la magnitud del vector suma de aceleración, superan ciertos

valores límite predefinidos [25]. Estos métodos son computacionalmente simples y fáciles de implementar, pero requieren un ajuste manual de los umbrales y son sensibles a falsos positivos, es decir, a detectar eventos que no son caídas [26].

Por otro lado, los métodos de aprendizaje automático aprenden patrones complejos a partir de datos de entrenamiento, lo que les permite mejorar la precisión de la detección de caídas. Algoritmos como Support Vector Machines (SVM), Random Forest y redes neuronales han mostrado una precisión superior al 95% en la detección de caídas [27]. Las redes neuronales profundas, en particular las CNN (Convolutional Neural Networks) y LSTM (Long Short-Term Memory), son capaces de aprender representaciones jerárquicas directamente a partir de los datos crudos, alcanzando precisiones superiores al 98% en conjuntos de datos controlados [28]. Sin embargo, estos enfoques más avanzados requieren mayores recursos computacionales y de memoria, lo que presenta un desafío para su implementación en dispositivos embebidos con limitaciones de hardware.

#### **1.4.2.4 Conjuntos de datos para entrenamiento**

Los conjuntos de datos públicos son fundamentales para el desarrollo y evaluación de algoritmos de detección de caídas. Uno de los más utilizados es SisFall, que contiene grabaciones de 15 tipos de caídas y 19 actividades de la vida diaria, capturadas con acelerómetro y giroscopio a una frecuencia de 200 Hz [29]. Otros conjuntos destacados incluyen MobiFall, tFall y el DLR dataset, cada uno con características particulares en cuanto a los tipos de caídas, el número de sujetos y la ubicación del sensor [30].

Aunque estos datasets son muy útiles, presentan algunas limitaciones. En general, las caídas en estos conjuntos son simuladas por adultos jóvenes en entornos controlados, lo cual no necesariamente refleja la cinemática de las caídas reales que experimentan los

adultos mayores. Además, la ubicación del sensor en estos conjuntos puede diferir de la ubicación del sensor en la aplicación final, lo que puede afectar la precisión del modelo en condiciones reales [31]. Estas limitaciones han impulsado la creación de conjuntos de datos propios, que se capturan con el hardware específico y bajo condiciones reales de uso.

### ***1.4.3 TinyML y Edge Computing***

TinyML representa la implementación de modelos de aprendizaje automático en microcontroladores con recursos limitados de memoria, procesamiento y energía [32]. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para sistemas de detección de caídas portátiles, ya que permite ejecutar inferencias localmente en el dispositivo sin depender de conectividad constante a internet, reduciendo latencia en la detección y preservando la privacidad del usuario [33].

Para el desarrollo de la versión mejorada de Detfall, TinyML posibilita que el microcontrolador XIAO Seeed nRF52840 Sense procese datos del acelerómetro en tiempo real y clasifique patrones de movimiento (actividades diarias, caídas o reposo) directamente en el dispositivo, garantizando tiempos de respuesta inmediatos críticos para situaciones de emergencia. La optimización del modelo mediante técnicas de cuantización permite reducir su tamaño para ajustarse a las limitaciones de memoria del microcontrolador, manteniendo niveles aceptables de precisión para la detección confiable de caídas [34][35].

#### **1.4.3.1 Comunicación Bluetooth Low Energy**

Bluetooth Low Energy (BLE) es el estándar predominante para comunicación inalámbrica en dispositivos vestibles debido a su bajo consumo energético [38]. BLE

utiliza un protocolo optimizado que mantiene el radio en modo sleep la mayor parte del tiempo, activándose brevemente para intercambiar datos, reduciendo el consumo promedio a microamperios [39].

El protocolo GATT (Generic Attribute Profile) define la estructura de datos en BLE mediante una jerarquía de servicios y características. Los servicios agrupan características relacionadas, y las características son variables que contienen valores de datos con propiedades de lectura, escritura o notificación [40].

#### **1.4.3.2 Desarrollo de aplicaciones móviles con Flutter**

Flutter es un framework de código abierto desarrollado por Google para crear aplicaciones móviles nativas multiplataforma desde una única base de código [41].

Flutter utiliza el lenguaje Dart y proporciona widgets personalizables caracterizado por su alto rendimiento y consistencia visual entre plataformas [42].

Para comunicación Bluetooth, Flutter ofrece plugins como flutter\_blue\_plus que encapsulan las APIs nativas de Android e iOS, permitiendo escaneo de dispositivos BLE, establecimiento de conexiones, y lectura y escritura de características GATT [43]. Las notificaciones push locales permiten alertar al usuario incluso cuando la aplicación está en segundo plano, crítico para aplicaciones de emergencia [44].

### **1.5 Proyecto Base**

En [45] implementaron una solución tecnológica para la detección y notificación de caídas utilizando TinyML dicha solución empleó el microcontrolador XIAO Seeed nRF52840 Sense con una capacidad para almacenar modelos de inteligencia artificial, ubicado en una carcasa impresa en 3D que se sujeta al bíceps

mediante una correa ajustable. Además, se llevó a cabo una aplicación móvil para la conexión del dispositivo y la emisión de alertas.

Inicialmente la alerta era emitida al centro de emergencias de ESPOC una vez que ha pasado el minuto sin que el usuario descarte la alarma. Se comprobó que la alerta se envía en menos de 5 segundos después de transcurrido el minuto, asegurando una respuesta rápida para la asistencia del usuario en caso de emergencia [45].

El modelo clasificó correctamente el 80% de las actividades diarias, el 95.7% de las caídas, y el 100% de los casos de reposo. En términos de métricas de rendimiento, el modelo alcanzó un valor de 0.97 en el área bajo la curva ROC, lo que indica una excelente capacidad de discriminación entre las categorías [45].

## **Capítulo 2**

## 2. METODOLOGÍA.

A continuación, se detallarán las etapas principales del desarrollo de la metodología, que abarca el análisis de los requerimientos funcionales y no funcionales de las partes móvil y web de la solución. Por otra parte, se analizará el prototipo funcional que permita visualizar y probar las características principales. Por último, se realizarán pruebas de funcionalidad y usabilidad con usuarios reales, validación de precisión del modelo de inteligencia artificial y ajustes basados en retroalimentación de usuarios asegurando la calidad y efectividad de la solución.

### 2.1 Análisis

#### 2.1.1 Requerimientos

##### 2.1.1.1 *Requerimientos Funcionales*

En las tablas 1 hasta la 15 se presentan los requerimientos funcionales del Módulo Alertante, donde se detallan las funcionalidades esenciales dirigidas al usuario portador del dispositivo *wearable*.

**Tabla 1**

*Requerimiento Funcional UM001 - Módulo Alertante*

| ID                   | UM001   | Módulo | Alertante |
|----------------------|---|--------|-----------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite que el usuario registre contactos de emergencia para solicitar ayuda en casos de accidentes. |        |           |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |        |           |

**Tabla 2***Requerimiento Funcional UM002 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM002</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite que el usuario al registrarse seleccione su categoría de uso del sistema: ESPOL Alert, Bicicletas, Senderismo, otros. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 3***Requerimiento Funcional UM003 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM003</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite registrar contactos de emergencias con datos personales como nombre completo y visualizarlo en la lista de contactos. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 4***Requerimiento Funcional UM004 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM004</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite editar y eliminar los contactos de emergencias de acuerdo con la lista de contactos. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

**Tabla 5***Requerimiento Funcional UM005 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM005</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite registrar que la app funcione en segundo plano manteniendo la conexión Bluetooth y que siga recibiendo las notificaciones de alerta. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

**Tabla 6***Requerimiento Funcional UM006 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM003</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite revisar las notificaciones mediante indicadores de estado |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 7***Requerimiento Funcional UM007 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM007</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema monitorea el estado de conexión y el nivel de batería del dispositivo, emitiendo alertas automáticas ante la pérdida de conexión o cuando el nivel de batería sea menor al 20%. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 8**

*Requerimiento Funcional UM008 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM008</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema genera un código único que permite establecer la vinculación entre el usuario alertante y el usuario cuidador |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 9**

*Requerimiento Funcional UM009 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM009</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema habilita el envío del código de vinculación mediante WhatsApp para que el usuario pueda compartirlo. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

**Tabla 10**

*Requerimiento Funcional UM010 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM010</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema muestra una lista de personas de las que los pueden monitorear. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 11***Requerimiento Funcional UM011 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM011</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite eliminar el cuidador que fue registrado con los datos compartidos. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

**Tabla 12***Requerimiento Funcional UM012 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM012</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema guarda la configuración inicial del emparejamiento, permitiendo que el dispositivo se conecte automáticamente en futuras sesiones. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

**Tabla 13***Requerimiento Funcional UM013 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM013</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite recuperar la contraseña a través de un enlace enviado al correo electrónico previamente registrado por el usuario |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 14***Requerimiento Funcional UM014 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM014</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|--|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite detectar el nivel de batería y enviar una notificación push a la aplicación para evitar perder la conectividad. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                  |

**Tabla 15***Requerimiento Funcional UM015 - Módulo Alertante*

| <b>ID</b>            | <b>UM015</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Alertante</b> |
|----------------------|---|---------------|------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite enviar una notificación push a los dispositivos de los contactos vinculados cuando la batería del dispositivo esta baja. |               |                  |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                  |

En las tablas 16 hasta la 21 se especifican los requerimientos funcionales del Módulo Cuidador, los cuales describen las capacidades de monitoreo y gestión disponibles para los usuarios que actúan como cuidadores.

**Tabla 16***Requerimiento Funcional UM016- Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM016</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|--|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema muestra el dashboard desde la aplicación web para monitorear los estados (conectado, desconectado, última actividad, nivel de batería) a los usuarios vinculados. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                 |

**Tabla 17***Requerimiento Funcional UM017- Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM017</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|--|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema muestra información del historial de caídas de un usuario seleccionado como: fecha, hora y ubicación. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                 |

**Tabla 18***Requerimiento Funcional UM018 - Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM018</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|---|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema notifica al cuidador cuando un usuario se desconecta cambiando el color del marcador a inactivo. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                 |

**Tabla 19***Requerimiento Funcional UM019 - Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM019</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|--|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite agregar al usuario alertante a la lista de monitoreado mediante código único. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                 |

**Tabla 20***Requerimiento Funcional UM020 - Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM020</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|--|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite desvincular usuarios y dejar de enviar notificaciones push. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                 |

**Tabla 21***Requerimiento Funcional UM021 - Módulo Cuidador*

| <b>ID</b>            | <b>UM021</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Cuidador</b> |
|----------------------|---|---------------|-----------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite configurar los medios por los cuales recibe notificaciones de emergencia como SMS, correo, llamada o WhatsApp. |               |                 |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                 |

**Tabla 22**

*Requerimiento Funcional UM022 - Módulo Administrador*

| <b>ID</b>            | <b>UM022</b>  | <b>Módulo</b> | <b>Administrador</b> |
|----------------------|---|---------------|----------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite que el administrador gestione y asigne roles a los usuarios registrados, modificando acceso, actualizando roles. |               |                      |
| <b>MoSCoW</b>        | Must  |               |                      |

**Tabla 23**

*Requerimiento Funcional UM023 - Módulo Administrador*

| <b>ID</b>            | <b>UM023</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Administrador</b> |
|----------------------|--|---------------|----------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite que el administrador visualice en tiempo real un mapa con la ubicación de todos los usuarios conectados para supervisar y garantizar seguridad. |               |                      |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                      |

**Tabla 24**

*Requerimiento Funcional UM024 - Módulo Administrador*

| <b>ID</b>            | <b>UM024</b>   | <b>Módulo</b> | <b>Administrador</b> |
|----------------------|--|---------------|----------------------|
| <b>Requerimiento</b> | El sistema permite que el administrador consulte información detallada de cada usuario como nombres completos, rol, estado de conexión, ubicación. |               |                      |
| <b>MoSCoW</b>        | Must   |               |                      |

**Tabla 25**

Requerimiento Funcional UM025 - Módulo Administrador

| ID            | UM025  | Módulo | Administrador |
|---------------|--|--------|---------------|
| Requerimiento | El sistema permite una autenticación mediante correo electrónica con opción de recuperación de contraseña. |        |               |
| MoSCoW        | Must   |        |               |

### **2.1.1.2 *Requerimientos No-Funcionales***

#### **2.1.1.2.1 Requerimiento De Eficiencia**

- El sistema va a funcionar usando los siguientes recursos del sistema operativo en el Módulo móvil, va a funcionar con 2Gb de RAM y un procesador mínimo en Android 4.1 o superior.
- El sistema debe actualizar y mostrar la ubicación de los usuarios conectados en el mapa en tiempo real con un tiempo de actualización de 60 segundos desde el dispositivo móvil.

#### **2.1.1.2.2 Requerimiento De Usabilidad**

- El sistema debe tener una interfaz intuitiva y accesible en la que pueda procesar todos los flujos en un tiempo de 1 minuto, con indicadores e iconos que ayuden a entender las funcionalidades principales.

### **2.1.2 Alcance Y Limitaciones De La Solución**

#### **2.1.2.1 Alcance**

El alcance del proyecto está definido por los requerimientos funcionales especificados en la sección 2.1.1.1. Estos requerimientos establecen las funcionalidades que el sistema debe cumplir para satisfacer las necesidades identificadas en el análisis del problema.

### **2.1.2.1 Limitaciones**

#### **2.1.2.1.1 Limitación De Hardware**

##### **Batería y Alimentación**

###### **LT-HW-001: Duración limitada de batería**

- La batería actual dura solo ~1.5 horas de uso continuo
- El usuario debe recargar el dispositivo frecuentemente (al menos 2-3 veces al día)
- Existe riesgo de quedarse sin protección si olvida cargarlo
- **Impacto:** Alto - Usuario desprotegido si batería se agota

###### **LT-HW-002: Sin interruptor físico de encendido/apagado**

- No hay forma de apagar el dispositivo completamente sin desconectar la batería
- Consume energía incluso cuando no se usa
- Batería se agota si no se usa por varios días

**Impacto:** Medio - Desperdicio de energía

###### **LT-HW-003: Dependencia total del smartphone**

- Si el teléfono celular no se encuentra cerca o no está disponible, el sistema no puede notificar al usuario sobre las alertas.

- En el caso de que el usuario olvidara su celular no podría recibir alertas.

**Impacto:** Crítico - Fallo total del sistema de protección

### **GPS y Ubicación**

#### **LT-HW-004: Precisión baja en interiores**

- El GPS no funciona bien en lugares donde no llega la señal.
- La precisión puede ser de 50-100 metros en interior vs 5-10 metros en exterior
- Una ubicación inexacta dificultaría encontrar al usuario en emergencias interiores

**Impacto:** Alto - Respuesta de emergencia retrasada

### **Resistencia Ambiental**

#### **LT-HW-005: No resistente al agua (IP0)**

- El dispositivo no tiene protección contra la humedad.
- No puede usarse en climas húmedos o con lluvia.
- El sudor excesivo puede dañar componentes con el tiempo.

**Impacto:** Alto - Limita contextos de uso

### **2.1.2.1.2 Limitación Del Software**

#### **LT-SW-001: Permisos especiales del sistema operativo requeridos**

- Requiere permisos constantes de bluetooth, ejecución en segundo plano y notificaciones.

- Si el usuario deniega, aunque sea uno, el sistema deja de funcionar correctamente
- Muchos usuarios desconfían de aplicaciones que piden tantos permisos.

**Impacto:** Alto - Usuarios pueden denegar permisos críticos

#### **LT-SW-002: Versiones antiguas de Android no soportadas**

- Requiere Android 8.0+ (API 26, lanzado en 2017)
- Aproximadamente 15% del mercado global aún usa Android 7.x o anterior
- Dispositivos de gama baja en países en desarrollo pueden ser incompatibles

**Impacto:** Medio - Exclusión de segmento de usuarios con dispositivos antiguos

#### **LT-SW-003: Desarrollo en IOS no soportado.**

- Para el desarrollo del sistema en dispositivos IOS se requiere una computadora que soporte este por lo que al no contar con esta el desarrollo se dará únicamente para Android.

**Impacto:** Medio - Exclusión de segmento de usuarios con dispositivos IOS.

#### **LT-SW-004: Invasión a la privacidad.**

- En el panel web se ven los distintos usuarios en el mapa junto al nivel de batería y otras especificaciones, los usuarios podrían considerarlo como invasión a la privacidad al tener acceso a su ubicación.

**Impacto:** Medio - Exclusión de segmento de usuarios con dispositivos IOS.

### 2.1.3 Riesgos Y Beneficios De La Solución

#### 2.1.3.1 *Beneficios De La Solución*

##### **B-A-001: Independencia y autonomía**

- **Descripción:** Los adultos mayores pueden vivir solos con mayor confianza.
- **Valor:** Existe una mayor independencia sin supervisión constante.
- **Impacto:** La calidad de vida aumenta significativamente, evitando institucionalización prematura.

##### **B-A-003: No requiere acción preventiva del usuario**

- **Descripción:** A diferencia de los botones de pánico el dispositivo funciona automáticamente
- **Valor:** Existe una protección incluso si el usuario está incapacitado o confundido
- **Impacto:** Crítico en casos de pérdida de consciencia, demencia.

##### **B-C-004: Múltiples canales de notificación**

- **Descripción:** Recibe alertas por Push, SMS, WhatsApp, Email, Llamada
- **Valor:** No pierde las alertas aunque un canal falle.
- **Impacto:** Mayor confiabilidad de la cadena de respuesta.

### **B-C-005: Procesamiento en el edge (TinyML)**

- **Descripción:** IA corre en el microcontrolador, no en la nube
- **Valor:** Latencia ultra-baja (<100ms), privacidad (datos no salen del dispositivo)
- **Impacto:** Detección casi instantánea, menor riesgo de privacidad

### **2.1.3.2 Riesgos De La Solución**

#### **R-HW-001: Dispositivo se daña en caída del usuario**

- **Descripción:** Ironía: detector de caídas se rompe al caer con el usuario
- **Probabilidad:** Baja-Media (depende de impacto)
- **Impacto:** Alto - Sistema deja de funcionar justo cuando más se necesita
- **Consecuencias:** Alerta no se envía, dispositivo inutilizable

#### **R-HW-002: GPS no obtiene ubicación a tiempo**

- **Descripción:** Cold start del GPS tarda 30-60s
- **Probabilidad:** Media (interior, clima nublado)
- **Impacto:** Medio - Alerta se envía sin ubicación precisa
- **Consecuencias:** Respuesta de emergencia retrasada, dificultad para encontrar usuario

#### **R-SW-003: API de terceros falla (Twilio, Firebase, WhatsApp)**

- **Descripción:** Servicio externo de notificaciones tiene outage
- **Probabilidad:** Baja (servicios enterprise confiables)

- **Impacto:** Alto - Canal específico de notificación no funciona
- **Consecuencias:** Alertas no llegan por ese canal

#### **R-OP-001: Usuarios olvidan cargar el dispositivo**

- **Descripción:** Dispositivo se queda sin batería por olvido
- **Probabilidad:** Alta (especialmente adultos mayores con deterioro cognitivo)
- **Impacto:** Alto - Usuario desprotegido frecuentemente
- **Consecuencias:** Sistema inútil, abandono, frustración familiar

#### **R-OP-001: Usuarios no llevan smartphone consigo**

- **Descripción:** Usuario deja teléfono cargando en habitación, va a cocina
- **Probabilidad:** Media-Alta (común en adultos mayores)
- **Impacto:** Alto - Sistema desconectado, sin protección
- **Consecuencias:** Caídas no detectadas en áreas comunes de la casa

#### **R-OP-002: Cuidador no responde a alerta**

- **Descripción:** Cuidador está durmiendo, ocupado, o ignora notificación
- **Probabilidad:** Media (fatiga de alertas, vida ocupada)
- **Impacto:** CRÍTICO - Cadena de respuesta falla en primer eslabón
- **Consecuencias:** Usuario no recibe la ayuda, aunque la alerta fue enviada

## 2.1.4 Usuarios de la solución

### 2.1.4.1 Actividades por realizar por tipo de usuario

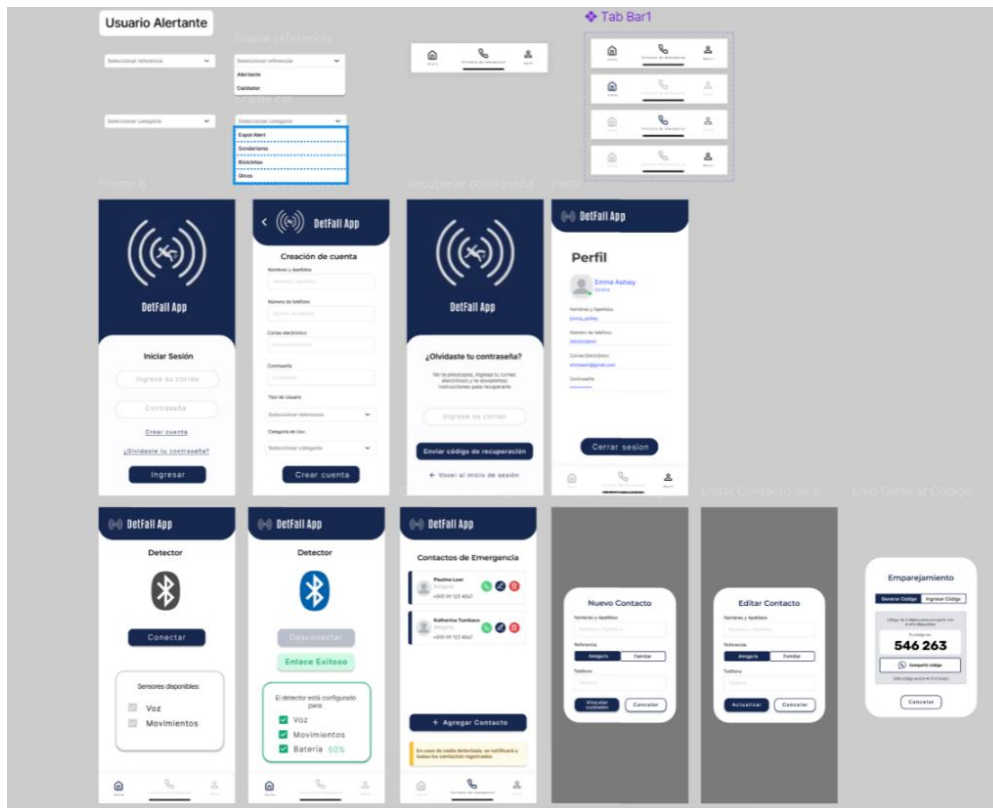
1. **Alertante:** Configuración del dispositivo (colocárselo en el bíceps y conectarlo a la aplicación), realizar actividades cotidianas como caminar, agregar contactos, generar código de vinculación, recuperar contraseña, registro e inicio de sesión, llamar al contacto de emergencia, conectar el dispositivo).
2. **Cuidador- App:** Emparejar usuario, llamar al alertante, registro e inicio de sesión, recibir notificaciones, recuperar contraseña, ver historial de caídas.
3. **Cuidador - Web:** Ver dashboard e historial de caídas, ver ubicación del alertante en el mapa, inicio y registro.
4. **Administrador:** Ver usuarios, bloquear usuarios, habilitar canales para notificaciones, ver dashboard con información, generar reportes, ver datos de usuarios (batería, ubicación).

## 2.2 Prototipado

En la Figura 1 se presenta la interfaz móvil del Usuario Alertante, quien porta el dispositivo *wearable*. Esta interfaz permite la configuración personal del dispositivo, visualización del estado de conexión y acceso los cuidadores emparejados.

### Figura 1

*Usuario Alertante - Parte móvil*



La Figura 2 muestra la aplicación móvil del Usuario Cuidador, destinada a quienes reciben las alertas de emergencia. Esta interfaz proporciona notificaciones en tiempo real, acceso rápido a información de contacto y opciones de respuesta inmediata ante situaciones críticas.

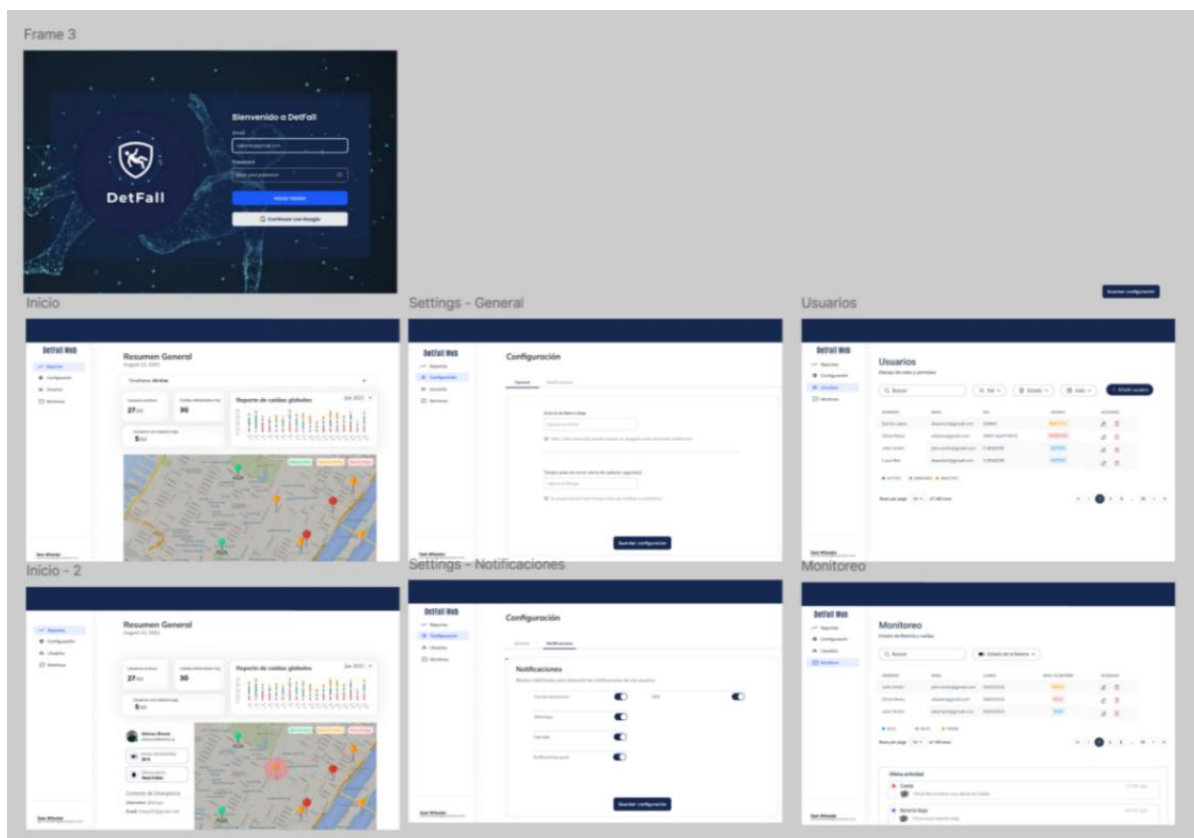
**Figura 2**  
*Usuario Cuidador - Parte móvil*



En la Figura 3 se observa el panel web del Usuario Administrador, que ofrece control completo sobre la gestión del sistema. Esta interfaz permite administrar usuarios, configurar parámetros globales, acceder a reportes analíticos, gestionar dispositivos vinculados y monitorear el estado general de la plataforma.

### Figura 3

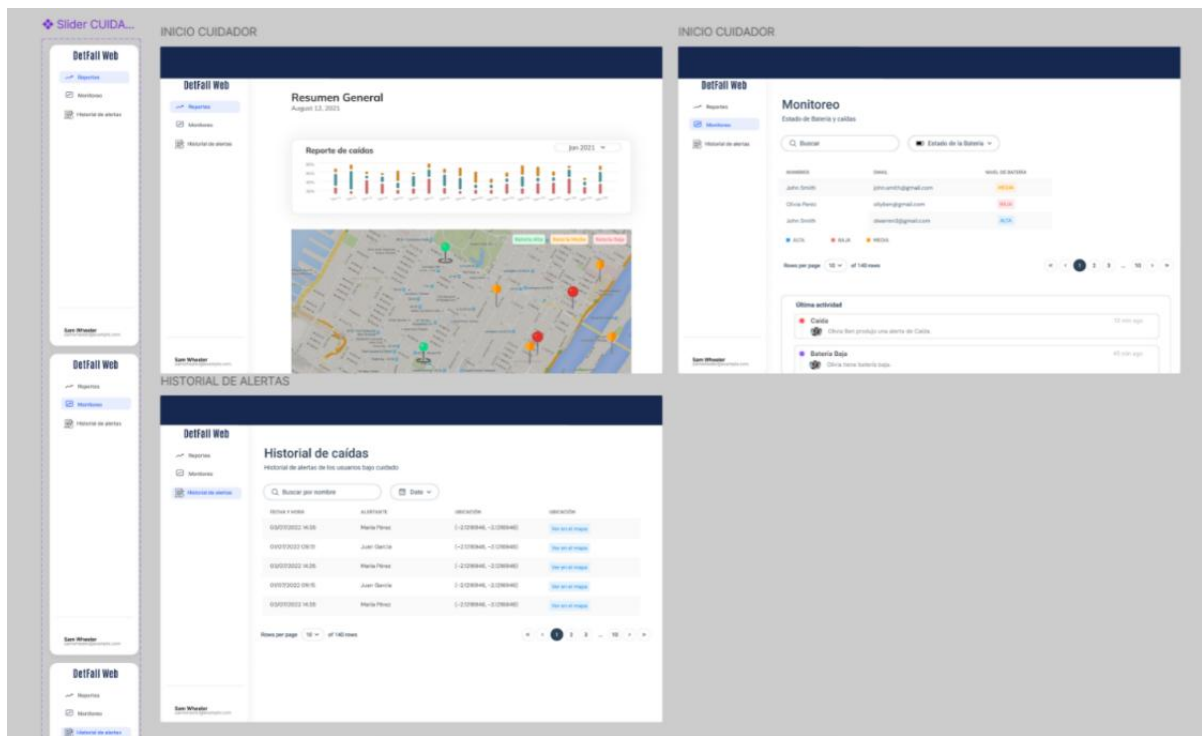
Usuario Administrador - Parte web



En la Figura 4 presenta la versión web de la interfaz del Usuario Cuidador con funcionalidades donde se ofrece visualización detallada del historial de alertas, gestión de múltiples alertantes.

**Figura 4**

*Usuario cuidador - Parte web*



### 2.2.1 Matriz De Selección De Prototipos

En la Tabla 26 presenta la matriz de evaluación donde cada criterio fue calificado en una escala de 1 a 5, siendo 5 la puntuación más favorable. Los criterios evaluados se los detalla a continuación.

**Tabla 26***Matriz De Selección De Prototipos*

| <b>Criterio de Evaluación</b>     | <b>Wireframes Baja Fidelidad</b> | <b>Mockups Media Fidelidad</b> | <b>Prototipo Alta Fidelidad (Figma)</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| <b>Tiempo de desarrollo</b>       | 5 (2-3 días)                     | 4 (1 semana)                   | 3 (2 semanas)                           |
| <b>Facilidad de iteración</b>     | 5 (rediseño rápido)              | 4 (ajustes digitales)          | 4 (componentes reutilizables)           |
| <b>Costo</b>                      | 5 (papel/gratis)                 | 5 (Figma gratis)               | 5 (Figma gratis)                        |
| <b>Presentación a tutor/ESPOL</b> | 2 (poco profesional)             | 4 (visual atractiva)           | 5 (muy profesional)                     |
| <b>TOTAL PONDERADO</b>            | <b>3.05</b>                      | <b>3.60</b>                    | <b>4.50</b>                             |

Se seleccionó el prototipo de Alta Fidelidad en Figma.

**Justificación:**

- Mejor balance entre velocidad de desarrollo y calidad de validación
- Permite pruebas realistas con usuarios sin invertir tiempo en código
- Fácil de iterar según feedback antes de programar

**2.2.2 Evaluación**

En la Tabla 27 presenta el resumen de las pruebas de usabilidad realizadas con el prototipo de alta fidelidad en Figma, organizadas según el rol de usuario dentro del sistema. Se evaluaron un total de 13 participantes distribuidos entre los tres perfiles principales: alertantes, cuidadores y administradores.

Los usuarios con rol de Alertante, representando el grupo más numeroso con 8 participantes, otorgaron la puntuación más alta con 4.8 sobre 5.0 puntos. Este grupo destacó positivamente

la intuitividad de la interfaz, la capacidad de establecer conexión inmediata con el dispositivo *wearable* y la precisión de la información desplegada en la aplicación móvil.

**Tabla 27**

*Resumen de las pruebas del prototipo por rol de usuario*

| <b>Rol de Usuario</b> | <b>Participantes</b> | <b>Puntaje Promedio</b> | <b>Observaciones</b>   |
|-----------------------|----------------------|-------------------------|--|
| <b>Alertante</b>      | 8                    | 4.8/5.0                 | Interfaz intuitiva, conexión inmediata, información precisa.                 |
| <b>Cuidador</b>       | 2                    | 4.5/5.0                 | Acceso rápido a las alertas, navegación clara, gestión de usuario sencilla.  |
| <b>Administrador</b>  | 3                    | 4.6/5.0                 | Diseño llamativo y profesional, configuración sencilla, reportes detallados. |

## **2.2.3 Diseño De La Solución**

### **2.2.3.1 Modelo De “4+1” Vistas De Kruchten**

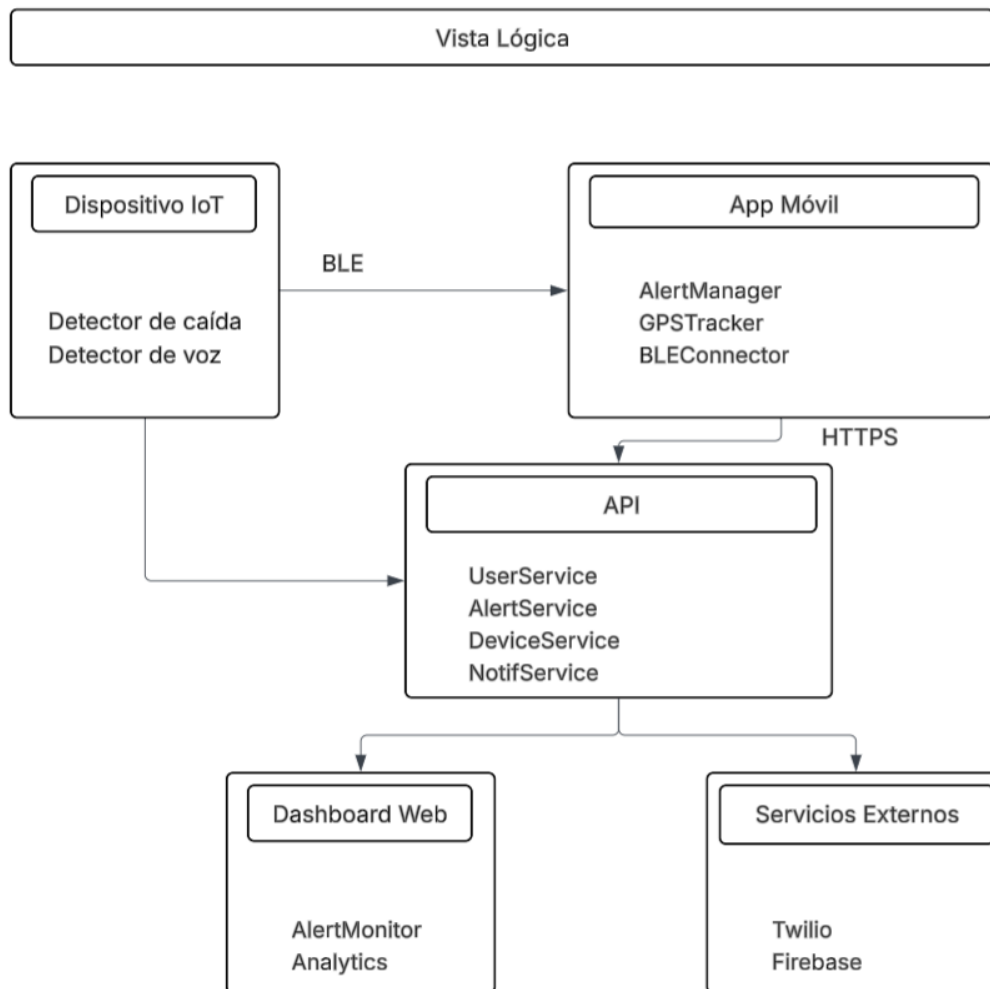
#### **2.2.3.1.1 Vista Lógica**

En la Figura 5 se presenta la organización de los componentes en paquetes funcionales y las interacciones entre ellos:

- **Paquete Iot (Dispositivos):** Contiene los módulos de detección física implementados en el hardware *wearable*:
  - **Detector de caída:** Lógica de detección de caídas con TinyML
  - **Detector de voz:** Reconocimiento de palabra clave "Sacha"
- **Paquete Mobile (Aplicación Flutter):** Actúa como intermediario entre el dispositivo *wearable* y los servicios backend:
  - **UI Layer:** Widgets y pantallas
  - **Business Logic Layer:** Provider para gestión de estado
  - **Data Layer:** Repositorios y fuentes de datos
  - **Domain Layer:** Entidades y casos de uso
- **Paquete Backend (Api Node.Js):** Núcleo del sistema que expone servicios REST
  - **Controllers:** Manejo de peticiones HTTP
  - **Services:** Lógica de negocio
  - **Repositories:** Acceso a datos
  - **Middleware:** Autenticación, validación, logging
- **Paquete Web (Dashboard React):** Interfaz administrativa que consume la API backend:
  - **Components:** Componentes reutilizables
  - **Pages:** Vistas completas
  - **State Management:** Redux/Context
  - **Services:** Llamadas a API
- **Servicios Externos:** Proveedores especializados integrados desde el backend:
  - **Twilio:** Servicio de mensajería SMS para contactos de emergencia registrados
  - **Firebase:** Push notifications instantáneas a dispositivos móviles y sincronización en tiempo real.

**Figura 5**

*Vista Lógica*

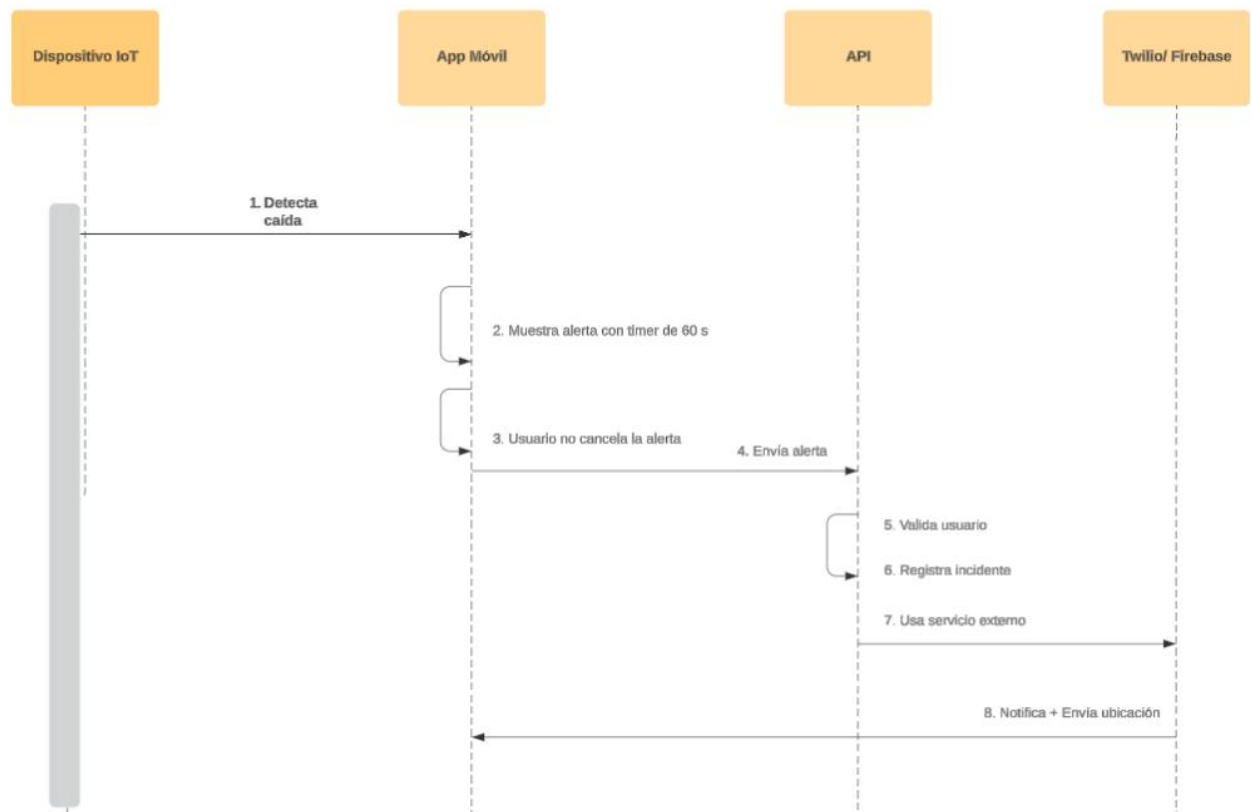


### 2.2.3.1.2 Vista De Procesos

En la Figura 6 se presenta el proceso de detección y notificación de caída, que constituye el flujo crítico del sistema.

**Figura 6**

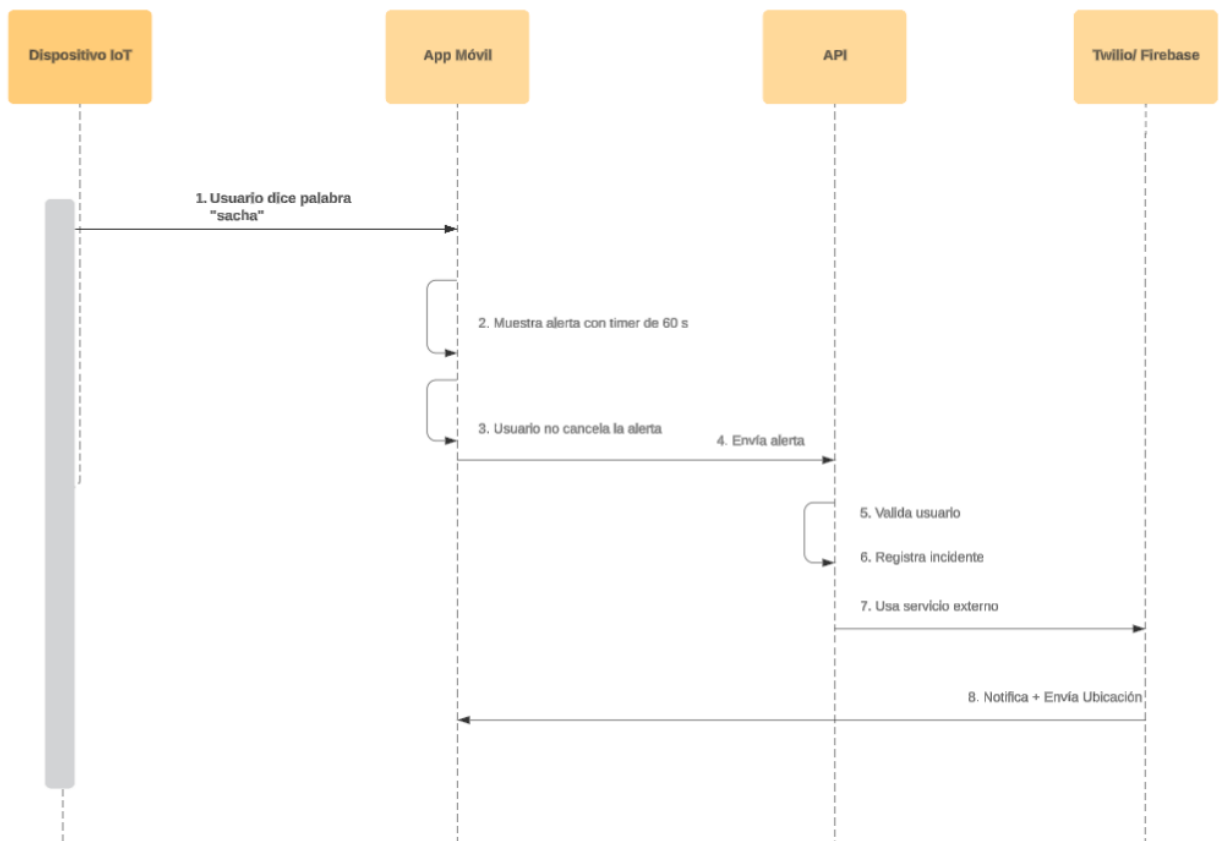
*Vista de Proceso 1: Detección y Notificación de Caída*



En la Figura 7 se presenta el proceso de activación por comando de voz "Sacha", una funcionalidad alternativa de emergencia que permite al usuario activar manualmente una alerta mediante reconocimiento de voz.

## Figura 7

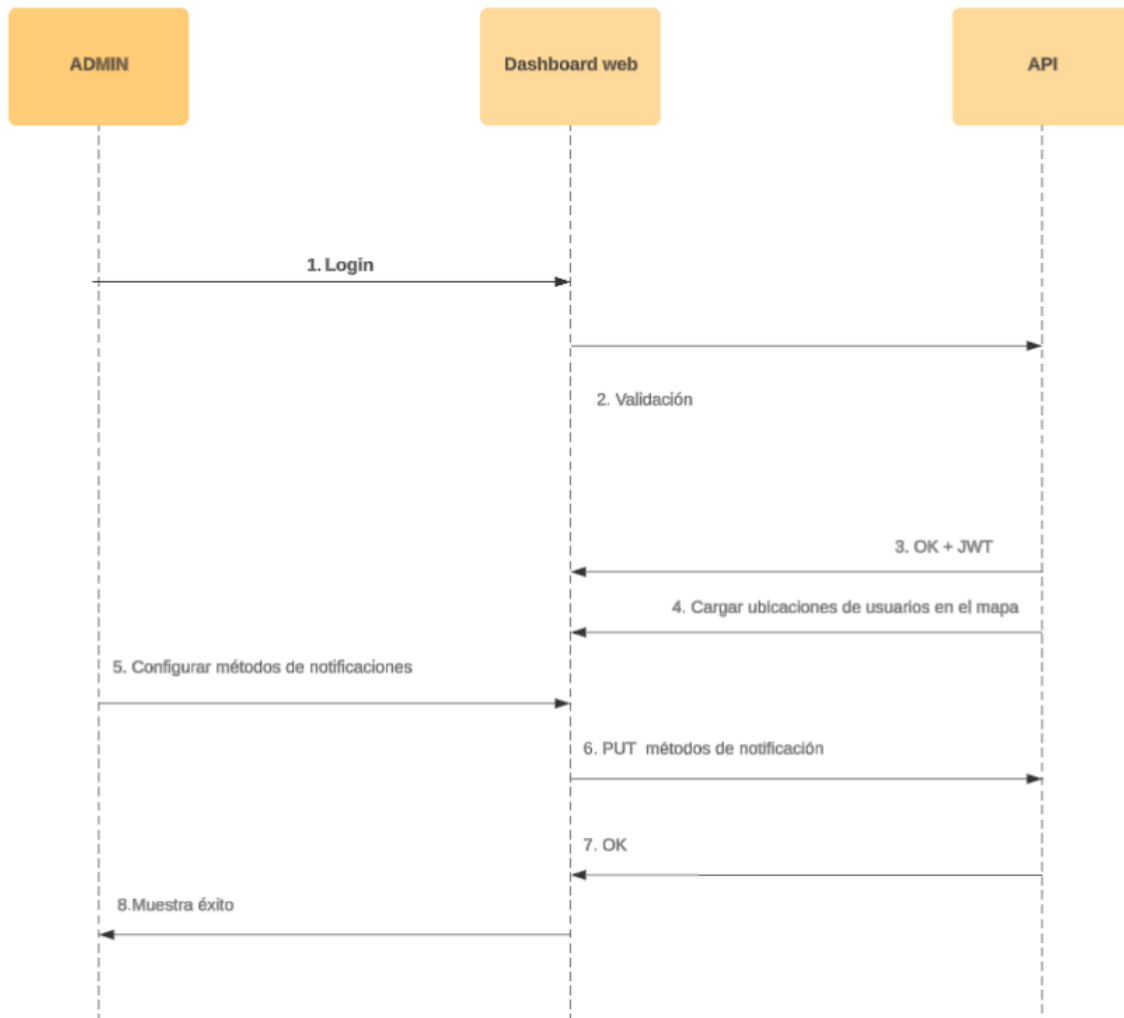
### Vista de Proceso 2: Activación por Voz "Sacha"



En la Figura 8 se presenta el proceso de gestión de usuarios en el dashboard administrativo. Este diagrama ilustra la secuencia completa de interacciones entre el administrador, la interfaz web y el API backend.

## Figura 8

### Vista de Proceso 3: Gestión de Usuario en Dashboard

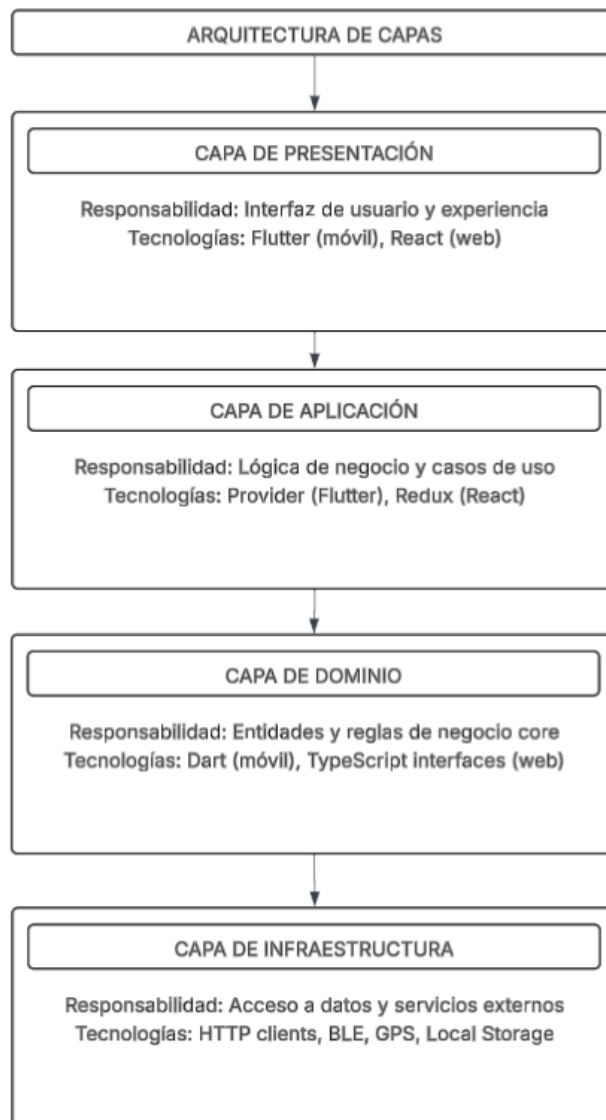


### 2.2.3.1.3 VISTA DE DESARROLLO

En la Figura 9 se presenta la arquitectura del sistema dividida en capas. Esta representación facilita la comprensión de la organización del código fuente y la distribución de responsabilidades entre módulos, guiando el proceso de implementación y mantenimiento del sistema.

**Figura 9**

*Vista de Desarrollo*



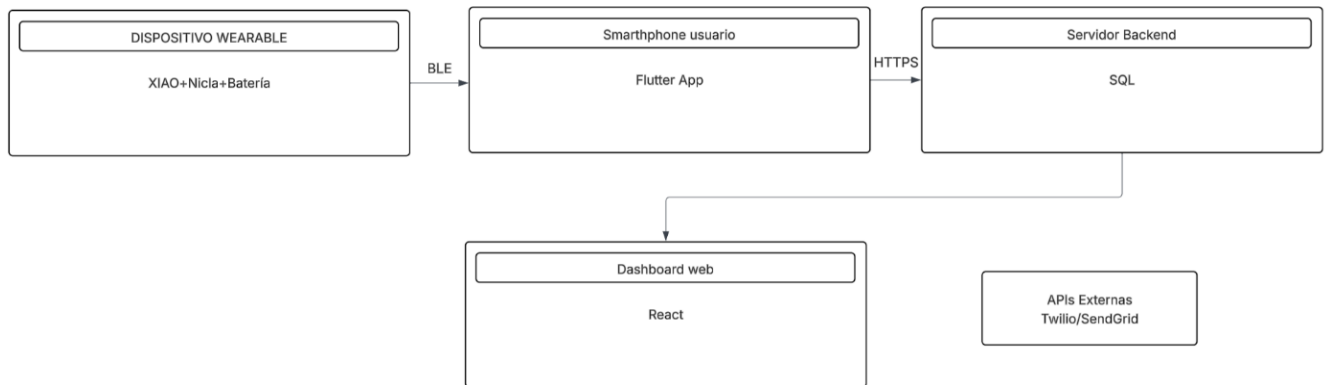
#### **2.2.3.1.4 VISTA FÍSICA**

En la Figura 10 se ilustra la arquitectura de despliegue de DetFall, representando la distribución física de los componentes en diferentes nodos de ejecución y los protocolos de comunicación que los interconectan. Esta vista de despliegue muestra cuatro nodos principales: el dispositivo *wearable* que integra los microcontroladores XIAO Seed nRF52840 y Nicla Voice con su batería, el smartphone del usuario ejecutando la aplicación Flutter que se comunica mediante protocolo BLE con el dispositivo, el servidor backend que

aloja la base de datos SQL y los servicios de negocio conectado vía HTTPS, y el dashboard web desarrollado en React para administración y monitoreo del sistema.

### Figura 10

#### Vista Física

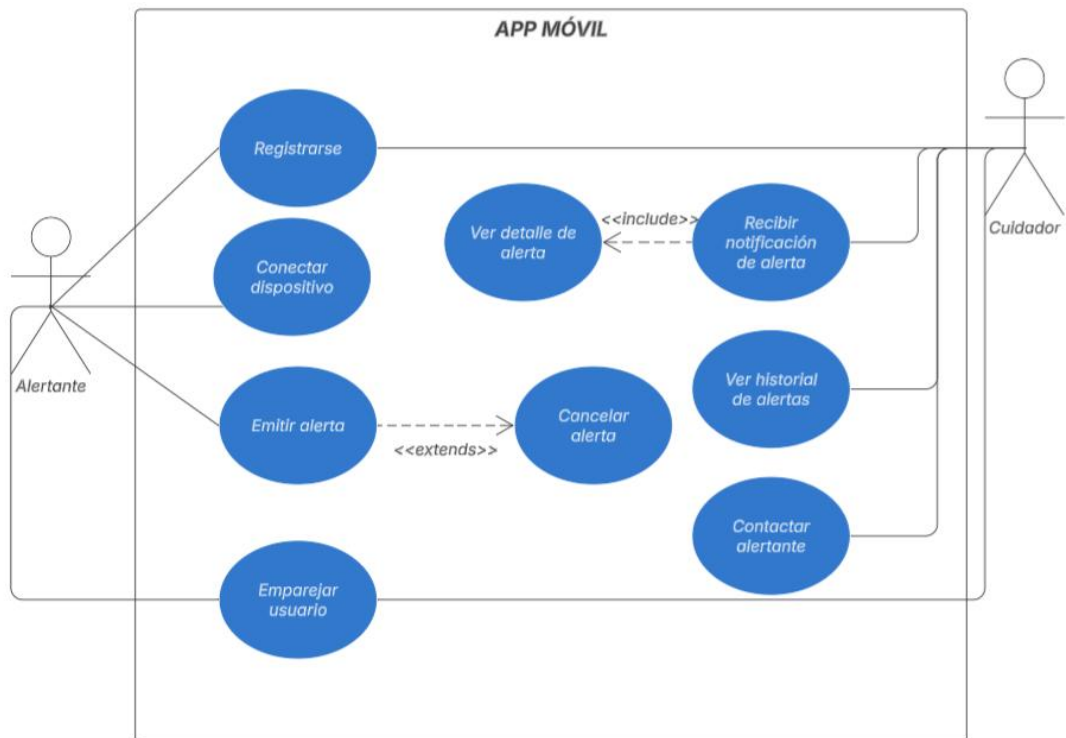


### 2.2.4 Diagramas (Clases, Casos De Uso, Interacción, Flujo De Procesos, Entre Otros)

En la Figura 11 se muestra el diagrama de clases de casos de uso, donde se visualizan las relaciones entre los diferentes actores del sistema y las funcionalidades disponibles para cada uno. Este diagrama proporciona una visión general de las interacciones posibles dentro de la plataforma y establece la estructura base para el desarrollo del sistema.

**Figura 11**

*Diagrama de Clase de Usos*

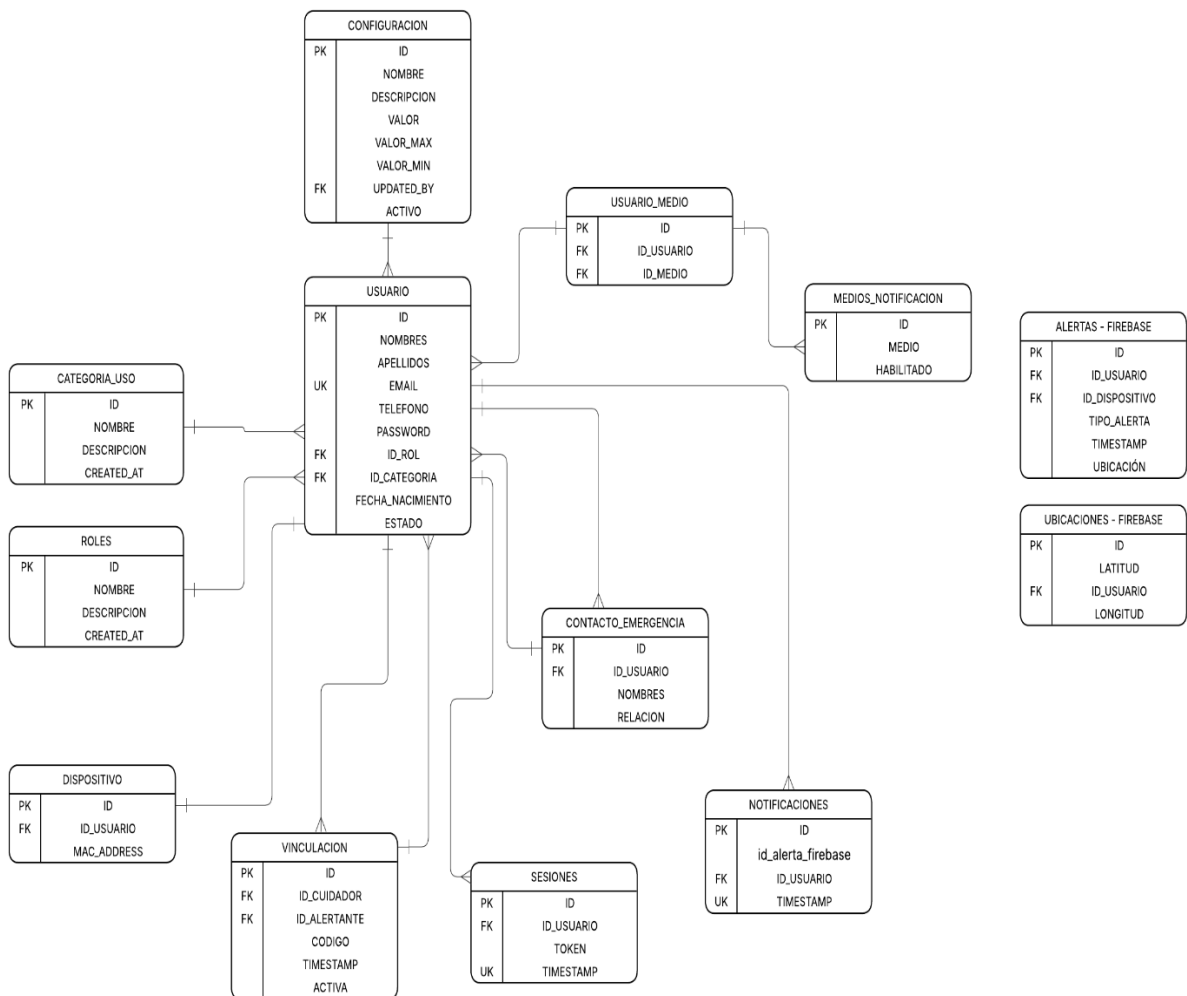


### 2.2.4.1 Diseño De La Base De Datos

En la Figura 12 se presenta el diseño de la base de datos del sistema DetFall, modelado mediante un diagrama entidad-relación que representa la estructura de almacenamiento y las relaciones entre las entidades principales del sistema. Este diseño relacional normalizado garantiza integridad referencial mediante claves primarias (PK) y foráneas (FK), permitiendo trazabilidad completa de eventos, gestión eficiente de permisos y configuraciones personalizadas por usuario.

**Figura 12**

*Diseño de la base de datos*



## **Capítulo 3**

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Plan de Implementación

La implementación del desarrollo se realizó mediante una metodología ágil con Sprint permitiendo iteraciones rápidas y entregas incrementales de funcionalidad, que abarca desde el análisis del proyecto hasta la implementación completa de todas las funcionalidades. En la Tablas 28 se detallan el cronograma de actividades realizada, donde se especifica las tareas principales, duración en semanas/días. Esta planificación garantiza una distribución equilibrada del trabajo y permite identificar los puntos o tares importantes del desarrolló del proyecto.

**Tabla 28**

*Plan de implementación*

| <b>Sprint</b>                                 | <b>Descripción de la actividad</b>   | <b>Duración<br/>(semanas)</b> | <b>Entregables</b>   |
|---|--|-------------------------------|--|
| Sprint 0:<br>Análisis y Configuración inicial | <ul style="list-style-type: none"><li>Análisis exhaustivo del proyecto base DetFall existente</li><li>Identificación de limitaciones técnicas y oportunidades de mejora</li><li>Revisión bibliográfica sobre sistemas de detección de caídas y tecnologías relacionadas</li><li>Reuniones con el tutor para validación del alcance</li></ul> | 3 semanas                     | <ul style="list-style-type: none"><li>Prototipo inicial funcional</li><li>Presentación del Capítulo 1</li><li>Ambientes de desarrollo configurados</li></ul> |

- 
- Registro formal del proyecto en la ficha de materia integradora
  - Configuración de ambientes de desarrollo locales (React Native, Flask, Firebase)
  - Implementación del prototipo inicial de mejoras
  - Realización de pruebas de usuario (web y móvil) para validar el prototipo

---

|                                |  |           |   |
|--------------------------------|--|-----------|---|
| Sprint 1: Diseño y Prototipado | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Correcciones del prototipo inicial (versión móvil y web) basadas en feedback</li> <li>• Elaboración de documento de historias de usuario (HU-001 a HU-018)</li> <li>• Investigación de posibles mejoras técnicas y funcionales</li> <li>• Definición de mejoras específicas a implementar</li> <li>• Validación con el cliente/tutor de las mejoras propuestas</li> <li>• Corrección y refinamiento de prototipos según historias de usuario</li> <li>• Validación exhaustiva del prototipo final</li> <li>• Capacitación del equipo en TinyML y Edge Impulse (2 días)</li> </ul> | 4 semanas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo corregido (móvil y web)</li> <li>• Acta de firma del cliente</li> <li>• Arquitectura de base de datos</li> <li>• Maquetas iniciales del sistema</li> </ul> |
|--------------------------------|--|-----------|---|

---

- 
- Continuación de pruebas de usuario (parte móvil y web)
  - Elaboración del Capítulo 2 (primer y segundo borrador) con Modelo 4+1 de Kruchten
  - Desarrollo de arquitectura de base de datos
  - Maquetación inicial de: base de datos, proyecto móvil y backend
  - Firma del prototipo por parte del cliente

---

|   |   |           |   |
|---|---|-----------|---|
| Sprint 2:<br>Implementación<br>y desarrollo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Backend y Base de Datos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elaboración de base de datos MySQL</li> <li>○ Configuración del entorno Flask</li> <li>○ Configuración de Firebase Realtime Database</li> <li>○ Desarrollo de endpoints para todas las historias de usuario</li> </ul> </li> <li>• <b>Frontend Web (React):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Configuración del entorno en React</li> <li>○ Maquetación de HU-001, HU-010, HU-002</li> <li>○ Implementación de HU-016 (gestión de usuarios), HU-017 y</li> </ul> </li> </ul> | 4 semanas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de datos MySQL operativa</li> <li>• Backend Flask con endpoints implementados</li> <li>• Aplicación móvil con funcionalidades</li> <li>• Aplicación web administrativa</li> <li>• Sistema de notificaciones integrado (Twilio + FCM)</li> </ul> |
|---|---|-----------|---|

---

---

HU-018 (dashboard de dispositivos)

- Gestión de categorías de uso

- **Frontend Móvil (React Native):**

- Implementación de HU-001 y HU-010: Autenticación y perfil, HU-002: CRUD de contactos, HU-005: Generación y gestión de códigos, HU-010: Vinculación cuidador-alertante, HU-007: Emparejamiento Bluetooth y adaptación del brazalete, HU-003: Mantenimiento de conexión en segundo plano y HU-004: Verificación de conexión

- **Sistema de Notificaciones:**

- Configuración de Firebase Cloud Messaging
  - Integración con Twilio para SMS
  - Implementación de HU-002: Notificación a múltiples contactos,
-

---

HU-006: Alertas de alcance y HU-009: Alertas de batería baja

- **Funcionalidades**

- **Adicionales:**

- Integración con mapas (50%)
      - Estado de batería del dispositivo
      - Maquetación de HU-011, HU-012 y HU-013
- 

Se desarrollarán dos manuales complementarios que permitirá la correcta adopción y mantenimiento del sistema:

- **Manual de Usuario:** Dirigido a los cuidadores, alertantes y administradores del sistema, que incluirá:
  - Guía de registro e inicio de sesión
  - Procedimiento para vinculación cuidador-alertante mediante código
  - Gestión de contactos de emergencia
  - Emparejamiento con el brazalete DetFall vía Bluetooth
  - Interpretación de notificaciones de caída y alertas
  - Uso del dashboard administrativo
  - Configuración de preferencias del sistema
- **Manual Técnico:** Dirigido a personal de TI, que incluirá:
  - Arquitectura del sistema
  - Protocolo de comunicación Bluetooth con el brazalete
  - Configuración del entorno de desarrollo (React Native, React, Flask)

### 3.2 Pruebas

Las pruebas se realizaron en diferentes plataformas: aplicación web y aplicación móvil. Se llevó a cabo de manera iterativa con la participación de usuarios reales que representan los roles del sistema como cuidadores, alertantes y administradores. En la Tabla 29 se presenta el plan de pruebas ejecutado, especificando el tipo de prueba y funcionalidades evaluadas.

**Tabla 29**

*Pruebas*

| <b>Tipo de Prueba</b>         | <b>Rol de Usuario</b> | <b>Tareas a Realizar</b>   | <b>Plataforma</b> | <b>Método de evaluación</b> |
|-------------------------------|-----------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| Prueba Funcional y Usabilidad | Alertante             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Registrarse en la app sin ayuda y evaluar claridad del proceso</li><li>• Seleccionar categoría de uso y verificar comprensión de opciones</li><li>• Conectar dispositivo vía Bluetooth evaluando facilidad</li><li>• Agregar 2 contactos de emergencia evaluando claridad del proceso</li><li>• Simular alerta y observar notificación</li><li>• Evaluar claridad del temporizador y descartar alerta.</li></ul> | Móvil             | Formulario de Satisfacción  |

|                               |           |   |       |                            |
|-------------------------------|-----------|---|-------|----------------------------|
| Prueba Funcional y Usabilidad | Alertante | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar sesión y explorar interfaz identificando funciones principales</li> <li>• Vincular dispositivo siguiendo instrucciones en pantalla</li> <li>• Navegar por secciones (Home, Perfil) sin ayuda</li> <li>• Simular alerta y dejar transcurrir 60 segundos sin descartar.</li> <li>• Verificar envío de alerta y evaluar comprensión del proceso.</li> <li>• Expresar nivel de confianza en la detección del sistema.</li> </ul> | Móvil | Formulario de Satisfacción |
| Prueba Funcional y Usabilidad | Alertante | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar sesión y editar información de perfil evaluando facilidad</li> <li>• Agregar 3 contactos de emergencia</li> <li>• Eliminar un contacto evaluando claridad de botones</li> <li>• Simular alerta con app minimizada (segundo plano)</li> <li>• Verificar notificación push y evaluar visibilidad</li> </ul>  | Móvil | Formulario de Satisfacción |

|                               |           |  |       |                            |
|-------------------------------|-----------|--|-------|----------------------------|
|                               |           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar elementos confusos o mejoras sugeridas</li> </ul>   |       |                            |
| Prueba Funcional y Usabilidad | Alertante | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Completar onboarding evaluando claridad de instrucciones</li> <li>• Conectar dispositivo y verificar indicador de batería</li> <li>• Pronunciar palabra clave "Sacha" y verificar activación</li> <li>• Evaluar comprensión de alertas y mensajes del sistema</li> <li>• Simular caída y descartar alerta evaluando facilidad</li> <li>• Expresar si usaría la app sin capacitación previa</li> </ul> | Móvil | Formulario de Satisfacción |
| Prueba Funcional              | Alertante | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar sesión y localizar todas las funciones sin ayuda</li> <li>• Gestionar contactos de emergencia</li> <li>• Simular caída controlada y evaluar claridad de notificación</li> <li>• Interpretar mensajes de confirmación y errores</li> </ul>   | Móvil | Formulario de Satisfacción |

- Evaluar tiempo requerido para completar tareas principales
- Identificar qué fue más fácil y difícil de usar

|                               |           |   |       |                            |
|-------------------------------|-----------|---|-------|----------------------------|
| Prueba Funcional y Usabilidad | Alertante | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registrarse y evaluar claridad del proceso de onboarding</li> <li>• Seleccionar categoría y conectar dispositivo evaluando instrucciones</li> <li>• Verificar estado de conexión y nivel de batería del dispositivo</li> <li>• Agregar contacto de emergencia evaluando facilidad</li> <li>• Minimizar app, simular caída y verificar notificación push</li> <li>• Evaluar satisfacción general y sugerir mejoras</li> </ul> | Móvil | Formulario de Satisfacción |
| Prueba Funcional y Usabilidad | Cuidador  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registrarse seleccionando rol "Cuidador" y evaluar claridad</li> <li>• Ingresar código de vinculación de un alertante</li> </ul>   | Móvil | Formulario de Satisfacción |

- 
- Verificar que el usuario aparezca en lista de monitoreados
  - Navegar por interfaz identificando funciones disponibles
  - Simular recepción de alerta de emergencia del usuario vinculado
  - Evaluar claridad de notificación y acciones disponibles

---

|                               |          |   |       |                            |
|-------------------------------|----------|---|-------|----------------------------|
| Prueba Funcional y Usabilidad | Cuidador | <ul style="list-style-type: none"><li>• Iniciar sesión como cuidador y explorar interfaz</li><li>• Vincular 2 usuarios protegidos con códigos diferentes</li><li>• Acceder a perfil de cada usuario y verificar información visible</li><li>• Configurar medios de notificación (push, SMS, WhatsApp)</li><li>• Recibir alerta y evaluar efectividad de canales configurados</li><li>• Desvincular un usuario y evaluar facilidad del proceso</li></ul> | Móvil | Formulario de Satisfacción |
|-------------------------------|----------|---|-------|----------------------------|

---

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Participantes

Se realizaron pruebas de usabilidad con 8 usuarios distribuidos de la siguiente manera:

- **6 Alertantes** (usuarios que portan el dispositivo)
- **2 Cuidadores** (usuarios que monitorean alertantes)

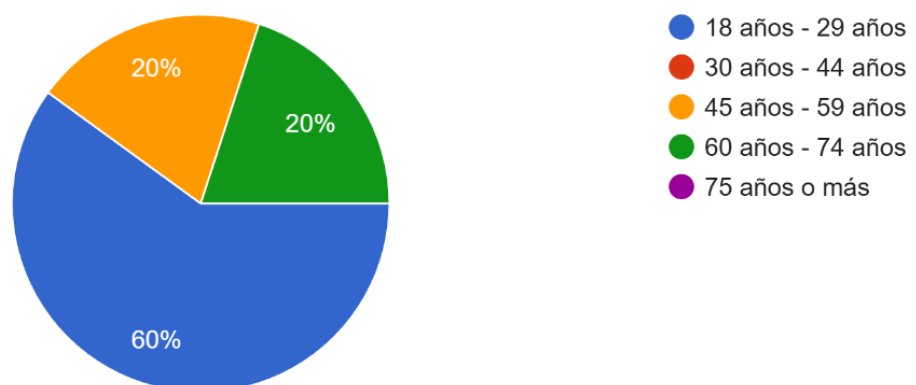
En la Figura 13 se presentan la distribución etaria de los participantes que realizaron las pruebas, de la cual la mayoría corresponde al 60% en el rango de 30 a 44 años, por otro lado, un 20% en el rango de 60 a 74 años. Esta diversidad etaria permite evaluar la usabilidad del sistema desde la perspectiva de diferentes grupos generacionales con distintos niveles de familiaridad tecnológica.

**Figura 13**

*Características demográficas*

¿Cuál es tu edad?

10 respuestas



#### 3.3.2 Funcionalidades Logradas

El sistema DetFall 2.0 cumplió exitosamente con las siguientes funcionalidades:

### **Para Alertantes:**

- Registro y selección de categoría de uso (ESPOL Alert, Bicicletas, Senderismo, Tercera Edad).
- Vinculación del dispositivo vía Bluetooth.
- Gestión completa de contactos de emergencia.
- Sistema de cancelación de alertas con temporizador ajustado de manera dinámica en el panel web.
- Funcionamiento en segundo plano con notificaciones push.
- Monitoreo de batería del dispositivo con alertas preventivas.
- Activación por voz mediante palabra clave "Sacha".
- Monitoreo de alertas de alcance.

### **Para Cuidadores:**

- Vinculación de múltiples alertantes mediante códigos
- Recepción de notificaciones de emergencia en tiempo real
- Acceso a historial de alertas
- Configuración de canales de notificación (push, SMS, WhatsApp, email)

### **3.3.3 Evaluación de Satisfacción**

En la Tabla 30 se muestran los resultados de la evaluación de satisfacción realizada a los 4 cuidadores. Se obtuvo un promedio de 4.8/5, lo que indica un nivel de satisfacción excelente. Estos resultados evidencian una alta aceptación del módulo cuidador por parte de los usuarios.

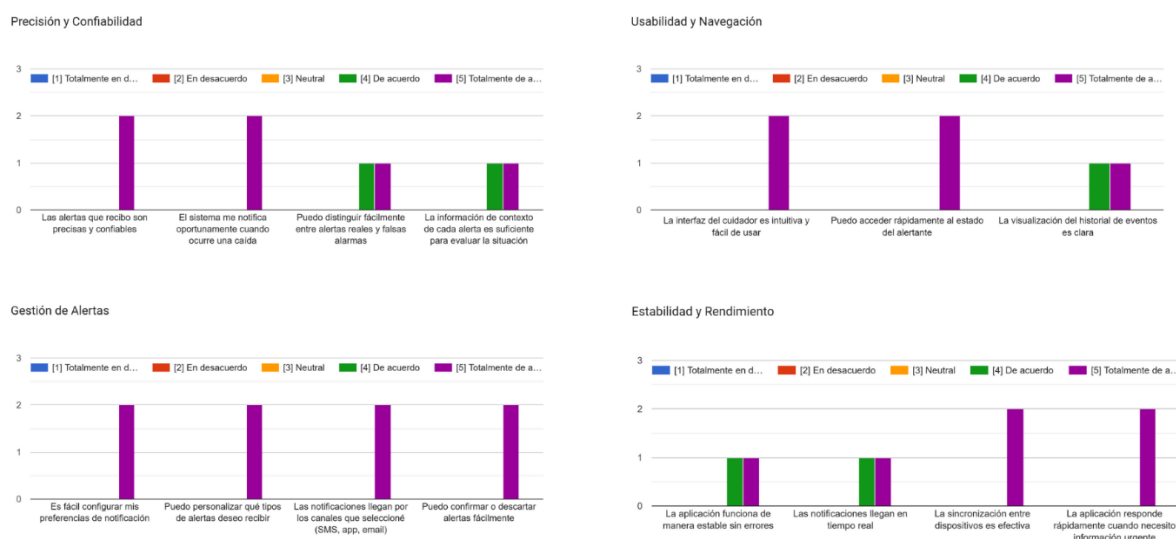
**Tabla 30***Resultados de Evaluación de Satisfacción módulo cuidador*

| <b>Dimensión</b>          | <b>Promedio</b> | <b>Interpretación</b> |
|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| Precisión y Confiabilidad | 4.8/5           | Excelente             |
| Usabilidad y Navegación   | 4.9/5           | Excelente             |
| Gestión de Alertas        | 4.9/5           | Excelente             |
| Estabilidad y Rendimiento | 4.8/5           | Excelente             |
| Seguridad y Confianza     | 5.0/5           | Excelente             |
| Total                     | 4.8/5           | Excelente             |

En la Figura 14 se presenta el análisis de las respuestas obtenidas en la evaluación de satisfacción, mostrando la frecuencia de cada nivel de acuerdo con la escala Likert evidenciando un alto nivel de satisfacción en todos los aspectos analizados.

**Figura 14**

*Distribución de respuestas por dimensión en la evaluación de satisfacción del módulo cuidador*



En la Tabla 31 se muestran los resultados de la evaluación de satisfacción realizada a los 6 alertantes. Se obtuvo un promedio de 4.6/5, lo que indica un nivel de satisfacción muy satisfactorio. Estos resultados evidencian una alta aceptación del módulo alertante por parte de los usuarios.

**Tabla 31**

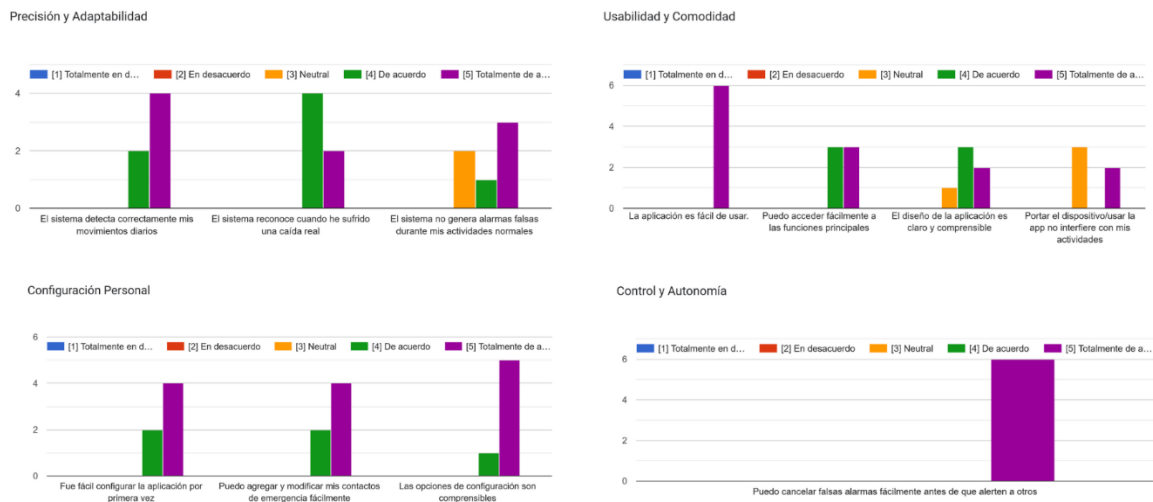
*Resultados de Evaluación de Satisfacción módulo alertante*

| Dimensión                 | Promedio   | Interpretación           |
|---------------------------|------------|--------------------------|
| Precisión y Adaptabilidad | 4.6/5      | Muy satisfactorio        |
| Usabilidad y Comodidad    | 4.5/5      | Muy satisfactorio        |
| Configuración Personal    | 4.7/5      | Excelente                |
| Control y Autonomía       | 4.8/5      | Excelente                |
| Estabilidad y Rendimiento | 4.6/5      | Muy satisfactorio        |
| Seguridad y Tranquilidad  | 4.8/5      | Excelente                |
| <b>Total</b>              | <b>4.6</b> | <b>Muy satisfactorio</b> |

En la Figura 15 se presenta el análisis de las respuestas obtenidas en la evaluación de satisfacción, mostrando la frecuencia de cada nivel de acuerdo con la escala Likert evidenciando un alto nivel de satisfacción en todos los aspectos analizados

**Figura 15**

*Distribución de respuestas por dimensión en la evaluación de satisfacción del módulo alertante*



**Aspectos mejor valorados:**

- Facilidad para cancelar falsas alarmas
- Confianza en que el sistema alertará a contactos cuando sea necesario
- Facilidad para agregar y modificar contactos de emergencia
- Sensación de seguridad al usar el sistema

**Aspectos con oportunidad de mejora:**

- Comodidad del dispositivo durante actividades diarias
- Distinción entre alertas reales y falsas alarmas

**3.3.4 Sugerencias de Mejora**

Los usuarios identificaron las siguientes áreas de oportunidad:

### 1. Medios de notificación adicionales:

- Los participantes sugirieron incorporar canales adicionales como Telegram, Microsoft Teams y Discord
- Interés en notificaciones por llamada telefónica automática para emergencias críticas

### 2. Dimensiones del dispositivo:

- La retroalimentación más recurrente fue la necesidad de reducir el tamaño del dispositivo colocado en el brazo
- Sugerencia de explorar diseños más compactos o integración en accesorios *wearables* (pulseras, bandas deportivas)

### 3. Ergonomía y portabilidad:

- Mejorar el sistema de sujeción para mayor comodidad durante uso prolongado

## 3.4 Análisis de Costos

En la Tabla 32 se desglosan los costos del proyecto, permitiendo identificar la inversión total realizada también se menciona los costos a las desarrolladoras considerando tarifas de mercado para proyectos similares, lo que permite estimar el valor real del trabajo desarrollado.

**Tabla 32**

*Análisis de Costos*

| <b>Categoría</b>    | <b>Concepto</b>         | <b>Cantidad/Tiempo</b> | <b>Costo Unitario</b>    | <b>Costo Total</b> |
|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| <b>Dispositivos</b> | Impresión del modelo 3D | 1                      | \$15.00 + \$7.00 (envío) | <b>\$22.00</b>     |
| <b>Hardware</b>     | Indicador de batería    | 1                      | \$9.85                   | <b>\$9.85</b>      |
|                     | Batería                 | 1                      | \$9.50                   | <b>\$9.50</b>      |

|                     |                  |             |              |                |
|---------------------|------------------|-------------|--------------|----------------|
| <b>Servicios</b>    | Twilio SMS       | 1,000 SMS   | \$0.00       | <b>\$0.00</b>  |
| <b>Externos</b>     | (Notificaciones) | (estimado)  |              |                |
|                     | Almacenamiento   | 2 días      | \$0.00       | <b>\$0.00</b>  |
|                     | Firestore        |             |              |                |
| <b>Capacitación</b> | Curso TinyML y   | 2 días      | \$10.00 (por | <b>\$20.00</b> |
|                     | Edge Impulse     |             | persona)     |                |
|                     | Tutoriales y     | Recursos de | \$0.00       | <b>\$0.00</b>  |
|                     | documentación    | aprendizaje |              |                |
|                     | online           |             |              |                |
| <b>Total</b>        |                  |             |              | <b>\$61.35</b> |

## **Capítulo 4**

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

Tras implementar las fases de análisis, desarrollo, pruebas y evaluación del sistema DetFall mejorado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos demuestran que la mejora iterativa sobre el proyecto TECH-356 es técnicamente viable, al lograr una arquitectura más robusta con mayor autonomía de batería (de 1.5 a +11 horas) y funcionalidad multi-plataforma, validando que proyectos académicos previos pueden evolucionar hacia soluciones de implementación real sin requerir rediseños completos desde cero.
- Se logró mejorar significativamente la arquitectura del sistema original mediante la implementación de una solución multi-plataforma que integra backend Flask con MySQL, dashboard web en React, y aplicación móvil Flutter, permitiendo una gestión centralizada y escalable del sistema de detección de caídas.
- Se validó la funcionalidad integral del sistema de alertas mediante pruebas que confirmaron la correcta detección de caídas, el envío de notificaciones multi-canal (SMS, WhatsApp, email, push), y la gestión del tiempo de respuesta dinámica para descarte de falsas alarmas.
- Se identificó como área crítica de mejora el diseño físico del dispositivo, cuyo tamaño se incrementó considerablemente al implementar baterías de mayor capacidad, comprometiendo la portabilidad y comodidad del usuario, lo que requiere optimización en futuras iteraciones.

- La ejecución de plan de pruebas permitió validar el correcto funcionamiento del sistema, confirmando que se genere correctamente las alertas y que el cuidador reciba la notificación con la ubicación de donde se generó la alerta.
- El proyecto establece una alternativa competitiva frente a soluciones comerciales premium al ofrecer funcionalidades especializadas de detección de caídas con alertas multi-canal y gestión centralizada a costos significativamente menores, haciendo viable el despliegue institucional masivo que las soluciones comerciales no pueden cubrir económicamente en contextos educativos o de cuidado comunitario.

#### ***4.1.2 Recomendaciones***

- Desarrollar alianzas estratégicas con instituciones de salud y organizaciones sociales que permitan la implementación de un sistema a mayor escala facilitando el acceso a poblaciones vulnerables.
- Integrar funcionalidades de detección que permita establecer un perímetro de seguridad alrededor de una zona segura. El sistema notificaría automáticamente a los cuidadores cuando el usuario atravesara el perímetro establecido, facilitando la localización temprana y reduciendo el riesgo de extravío para personas con enfermedad de Alzheimer o demencia.
- Rediseñar la carcasa del dispositivo priorizando ergonomía y portabilidad, explorando materiales más ligeros, configuraciones modulares que permitan separar batería del módulo de sensores, y formatos alternativos (pulsera, clip, parche adhesivo) que mejoren la aceptación del usuario y reduzcan la incomodidad reportada durante pruebas de uso prolongado.

- Expandir los canales de notificación mediante integración con webhooks personalizables y APIs de terceros, permitiendo conectar el sistema con plataformas institucionales existentes (sistemas hospitalarios, centrales de emergencia 911, plataformas de telemedicina), y habilitando respuestas bidireccionales donde cuidadores puedan confirmar recepción o solicitar información adicional directamente desde la notificación.
- Expandir las pruebas del sistema a condiciones ambientales extremas y escenarios de uso específicos no contemplados inicialmente, incluyendo actividades acuáticas (natación, deportes náuticos con dispositivos impermeables), ambientes industriales, actividades de montañismo en altitudes elevadas, y contextos con conectividad limitada o intermitente.

## Referencias

- [1] «Caídas». Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [2] *Usar la detección de caídas con el Apple Watch - Soporte técnico de Apple.* (s. f.). Apple Support. <https://support.apple.com/es-lamr/108896>
- [3] Mamian, M. (2025, 19 agosto). *Salario Básico Unificado en Ecuador para 2025 - Siigo Contífico.* Contífico. <https://contifico.com/salario-basico-unificado/>
- [4] Barco Gaspar, A. X. y Gudiño Pacha, P. M. (2024). Desarrollo de una solución tecnológica para la detección y notificación de caídas utilizando TinyML. [Proyecto Integrador]. ESPOL. FIEC, Guayaquil. 49 p. [DSpace en ESPOL: Desarrollo de una solución tecnológica para la detección y notificación de caídas utilizando TinyML](#)
- [5] H. Espínola, "Caídas en el adulto mayor," Boletín de la Pontificia Universidad Católica de Chile, vol. 29, pp. 1-5, 2000.
- [6] Fleming, J., & Brayne, C. (2008). Inability to get up after falling, subsequent time on floor, and summoning help: prospective cohort study in people over 90. *BMJ*, 337(nov17 1), a2227. <https://doi.org/10.1136/bmj.a2227>
- [7] Organización Mundial de la Salud. (2021). *Falls.* <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [8] Gama, M., y Gómez-Conesa, A., "Prevalencia de caídas en adultos mayores," *Revista Latinoamericana de Gerontología*, vol. 14, no. 4, pp. 23-29, 2008.
- [9] R. Ambrose et al., "Clinical risk factors for falls," *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 61, no. 4, pp. 657-663, 2013.
- [10] L. Z. Rubenstein, «Falls in older people: Epidemiology, risk factors and strategies for prevention», *Age and Ageing*, vol. 35, n.º suppl\_2, pp. ii37-ii41, 2006. doi: 10.1093/ageing/afl084.

- [11] INEC, «Proyecciones poblacionales Ecuador 2010-2050», Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020. [Enlace]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- [12] O. Johnell y J. A. Kanis, «An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures», *Osteoporosis International*, vol. 17, n.º 12, pp. 1726-1733, 2006. doi: 10.1007/s00198-006-0172-4.
- [13] H. J. Thompson, W. C. McCormick, y S. H. Kagan, «Traumatic brain injury in older adults: Epidemiology, outcomes, and future implications», *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 54, n.º 10, pp. 1590-1595, 2006. doi: 10.1111/j.1532-5415.2006.00894.x.
- [14] S. M. Friedman, B. Munoz, S. K. West, G. S. Rubin, y L. P. Fried, «Falls and fear of falling: Which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention», *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 50, n.º 8, pp. 1329-1335, 2002. doi: 10.1046/j.1532-5415.2002.50352.x.
- [15] M. Mubashir, L. Shao, y L. Seed, «A survey on fall detection: Principles and approaches», *Neurocomputing*, vol. 100, pp. 144-152, 2013. doi: 10.1016/j.neucom.2011.09.037.
- [16] R. Igual, C. Medrano, y I. Plaza, «Challenges, issues and trends in fall detection systems», *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 12, n.º 1, p. 66, 2013. doi: 10.1186/1475-925X-12-66.
- [17] V. Vishwakarma, C. Mandal, y S. Sural, «Automatic detection of human fall in video», *Pattern Recognition and Machine Intelligence*, pp. 616-623, 2007. doi: 10.1007/978-3-540-77046-6\_76.
- [18] A. Núñez-Marcos, G. Azkune, y I. Arganda-Carreras, «Vision-based fall detection with convolutional neural networks», *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2017, p. 9474806, 2017. doi: 10.1155/2017/9474806.
- [19] Y. Zigel, D. Litvak, y I. Gannot, «A method for automatic fall detection of elderly people using floor vibrations and sound—Proof of concept on human mimicking doll falls», *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 56, n.º 12, pp. 2858-2867, 2009. doi: 10.1109/TBME.2009.2030171.

- [20] T. Zhang, J. Wang, L. Xu, y P. Liu, «Fall detection by wearable sensor and one-class SVM algorithm», *Intelligent Computing in Signal Processing and Pattern Recognition*, pp. 858-863, 2006. doi: 10.1007/978-3-540-37258-5\_104.
- [21] D. M. Karantonis, M. R. Narayanan, M. Mathie, N. H. Lovell, y B. G. Celler, «Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring», *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, n.º 1, pp. 156-167, 2006. doi: 10.1109/TITB.2005.856864.
- [22] A. K. Bourke, J. V. O'Brien, y G. M. Lyons, «Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm», *Gait & Posture*, vol. 26, n.º 2, pp. 194-199, 2007. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.09.012.
- [23] M. Kangas, A. Konttila, P. Lindgren, I. Winblad, y T. Jämsä, «Comparison of low-complexity fall detection algorithms for body attached accelerometers», *Gait & Posture*, vol. 28, n.º 2, pp. 285-291, 2008. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.01.003.
- [24] S. O. H. Madgwick, A. J. L. Harrison, y R. Vaidyanathan, «Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm», *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 1-7, 2011. doi: 10.1109/ICORR.2011.5975346.
- [25] A. K. Bourke y G. M. Lyons, «A threshold-based fall-detection algorithm using a bi-axial gyroscope sensor», *Medical Engineering & Physics*, vol. 30, n.º 1, pp. 84-90, 2008. doi: 10.1016/j.medengphy.2006.12.001.
- [26] F. Bagalá, C. Becker, A. Cappello, L. Chiari, K. Aminian, J. M. Hausdorff, W. Zijlstra, y J. Klenk, «Evaluation of accelerometer-based fall detection algorithms on real-world falls», *PLOS ONE*, vol. 7, n.º 5, p. e37062, 2012. doi: 10.1371/journal.pone.0037062.
- [27] A. T. Özdemir y B. Barshan, «Detecting falls with wearable sensors using machine learning techniques», *Sensors*, vol. 14, n.º 6, pp. 10691-10708, 2014. doi: 10.3390/s140610691.
- [28] X. Yu, J. Kim, S. Hong, y W. Lee, «Automated fall detection using recurrent neural networks», *2018 18th IEEE International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1-4, 2018.

- [29] A. Sucerquia, J. D. López, y J. F. Vargas-Bonilla, «SisFall: A fall and movement dataset», *Sensors*, vol. 17, n.º 1, p. 198, 2017. doi: 10.3390/s17010198.
- [30] E. Casilari, J. A. Santoyo-Ramón, y J. M. Cano-García, «Analysis of public datasets for wearable fall detection systems», *Sensors*, vol. 17, n.º 7, p. 1513, 2017. doi: 10.3390/s17071513.
- [31] J. Klenk, C. Becker, F. Lieken, S. Nicolai, W. Maetzler, W. Alt, W. Zijlstra, J. M. Hausdorff, R. C. van Lummel, L. Chiari, y U. Lindemann, «Comparison of acceleration signals of simulated and real-world backward falls», *Medical Engineering & Physics*, vol. 33, n.º 3, pp. 368-373, 2011. doi: 10.1016/j.medengphy.2010.11.003.
- [32] P. Warden y D. Situnayake, *TinyML: Machine learning with TensorFlow Lite on Arduino and ultra-low-power microcontrollers*, O'Reilly Media, 2019.
- [33] C. R. Banbury, V. J. Reddi, M. Lam, W. Fu, A. Fazel, J. Holleman, X. Huang, R. Hurtado, D. Kanter, A. Lokhmotov, D. Patterson, D. Pau, J. Shen, K. Stacke, P. Torelli, y P. Warden, «Benchmarking TinyML systems: Challenges and direction», *arXiv preprint arXiv:2003.04821*, 2021. [Enlace]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2003.04821>
- [34] R. David, J. Duke, A. Jain, V. Janapa Reddi, N. Jeffries, J. Li, N. Kreeger, I. Nappier, M. Natraj, T. Wang, P. Warden, y R. Rhodes, «TensorFlow Lite Micro: Embedded machine learning for TinyML systems», *Proceedings of Machine Learning and Systems*, vol. 3, pp. 800-811, 2021.
- [35] B. Jacob, S. Kligys, B. Chen, M. Zhu, M. Tang, A. Howard, H. Adam, y D. Kalenichenko, «Quantization and training of neural networks for efficient integer-arithmetic-only inference», *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2704-2713, 2018. doi: 10.1109/CVPR.2018.00286.
- [36] Edge Impulse, «Edge Impulse documentation», 2023. [Enlace]. Disponible en: <https://docs.edgeimpulse.com/>
- [37] M. N. Nyan, F. E. H. Tay, y E. Murugasu, «A wearable system for pre-impact fall detection», *Journal of Biomechanics*, vol. 41, n.º 16, pp. 3475-3481, 2008. doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.009.

- [38] R. Heydon, *Bluetooth Low Energy: The developer's handbook*, Prentice Hall, 2013.
- [39] K. Townsend, C. Cufi, Akiba, y R. Davidson, *Getting started with Bluetooth Low Energy*, O'Reilly Media, 2014.
- [40] C. Gomez, J. Oller, y J. Paradells, «Overview and evaluation of Bluetooth Low Energy: An emerging low-power wireless technology», *Sensors*, vol. 12, n.º 9, pp. 11734-11753, 2012. doi: 10.3390/s120911734.
- [41] Flutter Team, «Flutter documentation», 2023. [Enlace]. Disponible en: <https://docs.flutter.dev/>
- [42] A. Biørn-Hansen, T. A. Majchrzak, y T. M. Grønli, «Progressive Web Apps: The possible Web-native unifier for mobile development», *Web Information Systems and Technologies*, pp. 344-363, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-27192-3\_17.
- [43] Flutter Blue Plus, «Flutter Blue Plus plugin», 2023. [Enlace]. Disponible en: [https://pub.dev/packages/flutter\\_blue\\_plus](https://pub.dev/packages/flutter_blue_plus)
- [44] Local Notifications Plugin, «Flutter local notifications», 2023. [Enlace]. Disponible en: [https://pub.dev/packages/flutter\\_local\\_notifications](https://pub.dev/packages/flutter_local_notifications)
- [45].Barco Gaspar, A. X. y Gudiño Pacha, P. M. (2024). Desarrollo de una solución tecnológica para la detección y notificación de caídas utilizando TinyML. [Proyecto Integrador]. ESPOL. FIEC, Guayaquil. 49 p.